

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THAÍS CORDEIRO QUEIROZ DE OLIVEIRA LIMA

**ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE METANO A PARTIR DA DEGRADAÇÃO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO ATERRO SANITÁRIO
METROPOLITANO DE JOÃO PESSOA/PARAÍBA – BRASIL EM 2015**

Curitiba

2018

THAÍS CORDEIRO QUEIROZ DE OLIVEIRA LIMA

**ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE METANO A PARTIR DA DEGRADAÇÃO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DISPOSTOS NO ATERRO SANITÁRIO
METROPOLITANO DE JOÃO PESSOA/PARAÍBA – BRASIL EM 2015**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso de Especialização em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono, do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como pré-requisito para obtenção do título de especialista.

Orientador (a): Prof. Dra. Claudia Coutinho Nóbrega.

Curitiba

2018

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Ivamberto Carvalho que tornou possível a realização deste curso, sempre me incentivando a crescer profissionalmente.

Aos meus pais, Lenira Carvalho e Carlos Queiroz, que sempre me apoiam e não hesitam em me ajudar.

À Jean Jacques por toda paciência, apoio e compreensão, não medindo esforços para me acompanhar em cada etapa do curso.

À professora e amiga, Claudia Coutinho, que se dispôs a me orientar, sempre compartilhando do seu positivismo, paciência, conhecimentos e valiosas experiências.

ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE METANO A PARTIR DA DEGRADAÇÃO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DISPOSTOS NO ATERRO SANITÁRIO
METROPOLITANO DE JOÃO PESSOA/PARAÍBA – BRASIL EM 2015

THAÍS CORDEIRO QUEIROZ DE O. LIMA¹

RESUMO

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são considerados um dos maiores problemas atuais pois a produção desses está associada às atividades do homem e a fatores relacionados ao seu poder de consumo. Com o aumento na geração de resíduos, surge uma problemática em paralelo a essa questão, que é a disposição inadequada dos RSU que acarreta a geração de metano (CH₄) devido à decomposição dos resíduos orgânicos degradáveis, sendo esse gás com um maior potencial de aquecimento global em relação ao CO₂. Buscando solucionar essa problemática, o objetivo deste trabalho foi estimar a emissão de metano a partir da biodegradação dos resíduos sólidos urbanos (RSU) dispostos no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa no ano de 2015 e a partir dessa estimativa, calcular o biogás gerado e a quantidade de CO₂ equivalente (CO₂e). Utilizaram-se os dados da pesquisa realizada por Pimentel (2017), junto a metodologia do *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories* elaborado pelo IPCC (1996). Ao realizar os procedimentos, notou-se que os resíduos em maior quantidade foram os orgânicos (massa orgânica e resíduos verdes) e concluiu-se que a quantidade de CH₄ gerado no ASMJP foi de 38.496,44 tCH₄/ano. A geração anual de RSU na Região Metropolitana de João Pessoa, dispostos no ASMJP, emite gases de efeito estufa, que ao invés de serem liberados diretamente na atmosfera, como no caso dos lixões, permite o gerenciamento e reaproveitamento do biogás. A partir da estimativa da emissão de CH₄, foi calculada a quantidade do biogás gerado e a quantidade de CO₂e. O biogás resultou em 76.992,88952 t/ano, visto que corresponde ao dobro do valor estimado de CH₄. E o CO₂e foi estimado em 769.928,89 t.

Palavras-chave: Atmosfera, Efeito Estufa, Poluição.

¹ Engenheira Ambiental.

ABSTRACT

Urban Solid Waste (RSU) is considered one of the biggest problems today because the production of these is associated with the activities of man and factors related to his consumption power. With the increase in waste generation, a problem arises in parallel to this issue, which is the inadequate disposal of MSW that leads to the generation of methane (CH_4) due to the decomposition of degradable organic waste, which gas has a higher heating potential overall CO_2 emissions. In order to solve this problem, the objective of this work was to estimate the emission of methane from the biodegradation of urban solid waste (RSU) arranged in the Metropolitan Sanitary Landfill of João Pessoa in the year 2015 and, based on this estimate, calculate the biogas generated and amount of CO_2 equivalent (CO_2e). The data of the research carried out by Pimentel (2017), together with the methodology of the Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories elaborated by the IPCC (1996) were used. In carrying out the procedures, it was observed that the residues in greater quantity were the organic ones (organic mass and green residues) and it was concluded that the amount of CH_4 generated in the ASMJP was 38,496.44 tCH_4/year . The annual generation of MSW in the Metropolitan Region of João Pessoa, located in the ASMJP, emits greenhouse gases, which instead of being released directly into the atmosphere, as in the case of dumps, allows the management and reuse of biogas. From the estimation of CH_4 emission, the amount of biogas generated and the amount of CO_2e was calculated. Biogas resulted in 76,992.88952 t/year , as it corresponds to twice the estimated value of CH_4 . And CO_2e was estimated at 769,928.89 t.

Keywords: Atmosphere, Greenhouse, Pollution.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
1.1	Objetivos	Error! Bookmark not defined.
1.1.1	Geral	Error! Bookmark not defined.
1.1.2	Específicos	Error! Bookmark not defined.
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
3	MATERIAIS E MÉTODOS	9
3.1	Área de estudo	10
3.2	Metodologia	15
3.2.1	Taxa de geração de Resíduos Sólidos Domiciliares – RSD por Habitante (TaxaRSD)	Error! Bookmark not defined.
3.2.2	Taxa de Coleta de RSD (RSD_F)	Error! Bookmark not defined.
3.2.3	Fator de correção para o CH_4 (FCM)	17
3.2.4	Caracterização gravimétrica dos resíduos de João Pessoa	17
3.2.5	Carbono orgânico degradável (COD)	18
3.2.6	COD que realmente se degrada (COD_f)	19
3.2.7	Fração do carbono liberado como CH_4 (F)	19
3.2.8	CH_4 recuperado (R)	19
3.2.9	Fator de Oxidação (OX)	20
3.3	Geração de resíduos sólidos	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1	Situação das Emissões de metano (CH_4) em 2015	21
4.1.1	População	21
4.1.2	Taxa de geração de Resíduos Sólidos Domiciliares – RSD por Habitante (TaxaRSD)	Error! Bookmark not defined.
4.1.3	Taxa de Coleta de RSD (RSD_F)	Error! Bookmark not defined.
4.1.4	Fator de correção para o CH_4 (FCM)	22
4.1.5	Composição Gravimétrica dos RSU	22
4.1.6	Carbono orgânico degradável (COD)	23
4.1.7	Resultado final a partir da metodologia apresentada pelo IPCC	24
4.2	Geração de resíduos sólidos	25
5	CONCLUSÕES	25

1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, os gases (CH₄, CO₂, N₂O e HFC), que são popularmente conhecidos como gases de efeito estufa (GEE), contribuem negativamente para o acontecimento de impactos ambientais como aquecimento global, ilhas de calor, intensificação do efeito estufa, inversão térmica, dentre outros. Estes gases são gerados a partir de atividades humanas no setor industrial, consumo de energia, na produção, transportes e geração de eletricidade devido à queima de combustíveis fósseis. (TARAZONA, 2010).

De acordo com o IPCC, o aquecimento global é inequívoco e vem ocorrendo seguindo um ritmo cada vez mais acelerado. Além do aumento das temperaturas médias globais do ar e dos oceanos, verifica-se o derretimento generalizado de neve e gelo e a elevação do nível médio global do mar (CMMC, 2013).

Segundo Tarazona (2010), em paralelo a este fator da emissão, é importante citar a questão dos resíduos sólidos urbanos (RSU), cuja geração vem aumentando significativamente nos últimos anos, devido ao aumento populacional e ainda carecem de uma gestão mais adequada.

Segundo o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa – SEEG (2017), a gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil é caracterizada pela baixa valorização biológica, física e energética: o material coletado é encaminhado para disposição final em aterros ou lixões, observando-se baixos índices de contribuição de alternativas de valorização como, por exemplo, compostagem e reciclagem.

Neste trabalho serão apresentados dados em relação à geração de RSU do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa (ASMJP), que iniciou suas atividades em agosto de 2003, através do Consórcio de Desenvolvimento Intermunicipal da Área Metropolitana de João Pessoa – CONDIAM. Portanto, o ASMJP está em funcionamento há quase 15 anos. O aterro recebe resíduos de cinco municípios (Cabedelo, Bayeux, Santa Rita, Conde, além da capital paraibana, João Pessoa). A partir dos objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), segundo Pimentel (2017) percebe-se que o município de João Pessoa carece da implantação de tecnologias que possibilitem o aumento da vida útil do referido aterro (PIMENTEL, 2017).

Foi realizado um levantamento de dados dos cinco municípios que dispõem seus resíduos no ASMJP, com relação à quantidade de habitantes, taxa de geração de resíduos por habitante, composição gravimétrica, taxa de coleta, tipo de destinação e dados sobre a operação do aterro sanitário.

Portanto, a pesquisa teve como objetivo estimar a emissão de metano a partir da biodegradação dos resíduos sólidos urbanos (RSU) dispostos no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa no ano de 2015 e a partir dessa estimativa, calcular o biogás gerado e a quantidade de CO₂ equivalente (CO₂e).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os resíduos sólidos são considerados um grande problema ambiental, pois a produção destes está associada às atividades do homem e à fatores relacionados ao seu poder de consumo. As soluções para estes problemas relacionados ao manejo dos resíduos sólidos urbanos (RSU) exigem tecnologias específicas e adequadas que são apresentadas por informações técnicas consistentes (PEGIRS/RN, 2012, p.13).

Sabe-se que o setor industrial teve uma grande valorização, a partir do desenvolvimento dos municípios. Permitindo que grande parte da população mundial ocupasse o meio urbano, contribuindo para o crescimento do consumo, gerando mais resíduos e, conseqüentemente, degradando o meio ambiente. O conceito de resíduo sólido é apresentado de forma clara na Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Lei nº 12.305/2010), como:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final 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.

A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE apresentou no seu mais recente panorama, que a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil em 2016 foi de aproximadamente 78,3 milhões de toneladas, o que representa uma queda de 2,04% em relação ao ano de 2015, passando de 218.814 t/dia para 214.405 t/dia (ABRELPE, 2017).

O cidadão brasileiro produziu, em 2016, 1,040 kg de resíduo sólido por dia, o que mostrou uma queda de 2,9% quando comparado ao ano anterior, o que poderia ser considerado positivo caso a destinação e recursos aplicados no seguimento de limpeza também apresentasse progresso, porém houve uma queda de 1,7% na coleta diária (ABRELPE, 2017).

O panorama apresenta os índices de disposição final de RSU coletados, sendo o percentual em 2016 de 58,4% dos resíduos dispostos em aterros sanitários, um retrocesso quando comparado ao ano de 2015 (58,7%). As unidades inadequadas como os lixões e aterros controlados² ainda estão presentes em todas as regiões do país, recebendo uma quantidade superior a 81.000 t/dia de resíduos (ABRELPE, 2017), acarretando os mais diversos problemas de ordem sanitária, ambiental, econômica e social.

A disposição final de RSU é a maior contribuinte nas emissões de GEE do setor de resíduos, responsável pela emissão de 34,28 milhões de toneladas de CO₂ equivalente em 2015 (SEEG, 2017).

A matéria orgânica contida nos resíduos sólidos, quando depositadas em lixões ou aterros e em condições anaeróbicas (ausência de oxigênio livre), sofrem a ação de bactérias geradoras de metano, em um processo denominado metanização, com a produção de biogás. O biogás é composto majoritariamente por metano (50% a 70%)³ e qualificado como um GEE. O processo de liberação de CH₄ de uma quantidade específica de resíduos disposto em aterros diminui gradativamente nas décadas subsequentes (IPCC, 2006).

No ano de 2015, as emissões do setor de resíduos totalizaram 64,35 milhões de toneladas (Mt) de CO₂e⁴(CO₂ equivalente), representando em torno de 3,34% das emissões nacionais. No período de 1970 a 2015, as emissões acumuladas do setor de resíduos assumiram o valor de 1.582 milhões de toneladas de CO₂e, que por sua vez representam 2,38% no valor total de emissões acumuladas do Brasil (SEEG, 2017).

² A PNRS não reconhece aterro controlado como uma forma adequada de disposição final de resíduos sólidos, pois a única diferença para um lixão é o recobrimento do resíduo por um material inerte, não há tratamento para gases e nem chorume.

³ O biogás também é composto por dióxido de carbono (30 a 45%).

⁴ Utiliza como padrão os fatores de conversão para carbono equivalente no formato GWP presente do Segundo relatório do IPCC (SAR ou AR2 – Second Assessment Report).

Por ser um gás altamente combustível, o biogás necessita ser continuamente drenado para evitar explosões no interior do aterro sanitário. No Brasil, grande parte dos aterros utilizam o sistema de drenos abertos (*flares*), onde a chama se mantém acesa para promover a queima imediata do biogás drenado. Esse sistema apresenta uma baixa eficiência e estima-se que apenas 20% do biogás drenado seja efetivamente destruído pela queima. O restante é simplesmente emitido para a atmosfera (ICLEI, 2009).

Segundo o SEEG (2017), cada subsetor contribui no total de emissões de GEE. No ano de referência de 2015, 53,3% das emissões foram provenientes da disposição final de RSU, 23,8% decorrentes do tratamento de efluentes líquidos domésticos, 22,4% do tratamento e afastamento de efluentes líquidos, e 0,4% da incineração de resíduos de serviços de saúde (RSS) e resíduos sólidos industriais (RSI).

A partir disso, pode-se dizer que o inventário é um dos instrumentos da Política Nacional sobre Mudanças do Clima – PNMC (BRASIL, 2009), que a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) estabeleceu como meta o aproveitamento energético dos gases que são gerados pelo manejo dos resíduos sólidos, diminuindo a emissão dos gases do efeito estufa (GEE) para a atmosfera.

As emissões provenientes dos aterros sanitários podem gerar créditos de carbono através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que são obtidos a partir da redução certificada de emissões feitas através da captação e destinação adequada dos gases de aterros sanitários, tanto pela queima controlada ou como pela geração de energia. (MUSSE e LOPES, 2010).

A qualidade da estimativa de emissões de metano está diretamente relacionada à qualidade e disponibilidade dos dados de atividade no setor de resíduos, que incluem o total de resíduos sólidos urbanos gerados, índices de coleta, composição gravimétrica, fração de RSU encaminhada para disposição final e tipo de gestão aplicado nos locais de disposição (SEEG, 2017).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados neste trabalho, para o município de João Pessoa, os dados coletados por Pimentel (2017) referentes ao ano de 2015.

3.1 Área de estudo

O município de João Pessoa destaca-se na rede urbana paraibana não somente pela liderança político-administrativa, mas, sobretudo, pela importância do seu aglomerado urbano que envolve municípios vizinhos como Cabedelo, Bayeux e Santa Rita, constituindo a chamada Grande João Pessoa, que é o principal centro político, econômico e cultural do Estado. O município de João Pessoa está localizado na porção extrema oriental do continente americano, entre 7°6'54" de latitude sul e 34°51'47" de longitude oeste (PMGIRS, 2014). Limitando-se ao norte com o município de Cabedelo através do rio Jaguaribe; ao sul com o município do Conde e pelo rio Gramame; a leste com o Oceano Atlântico; e, a oeste com os municípios de Bayeux pelo rio Sanhauá e Santa Rita pelos rios Mumbabae Paraíba, respectivamente (PMGIRS, 2014).

A Figura 1 mostra a Localização do estado da Paraíba, dentro do território brasileiro, destacando o município de João Pessoa.

Figura 1 – Localização do estado da Paraíba no território brasileiro



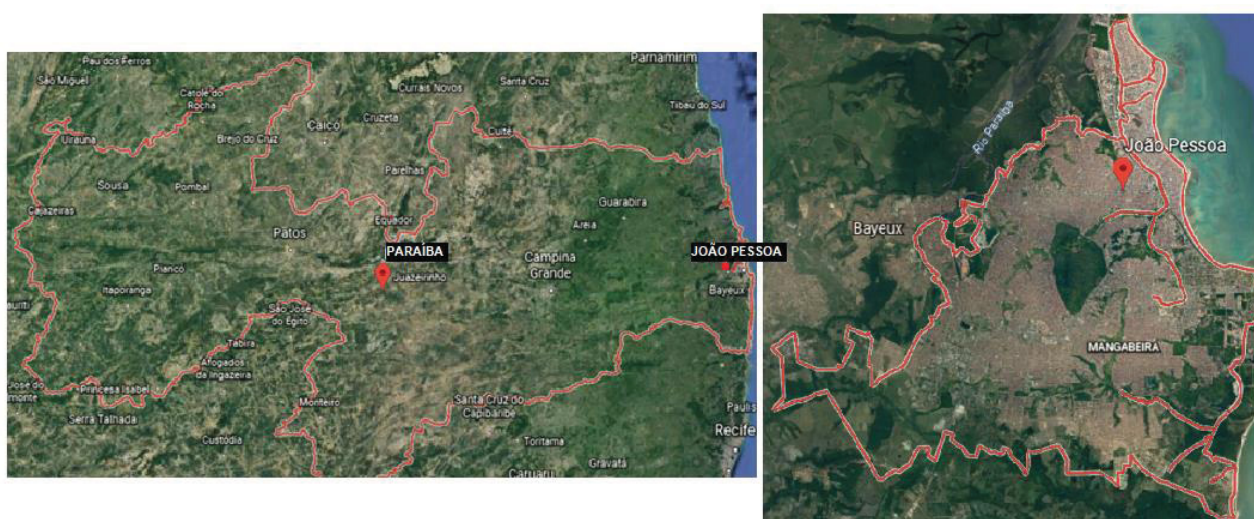
Fonte: Google Earth, 2018.

O referido município possui uma área total de 211,475 km² (0,3% da superfície do Estado), tem 64 bairros com uma área bruta de 160,76 km² e 49,69 Km² de preservação ambiental. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010), no seu último censo, a capital paraibana apresentou 723.515 habitantes, a renda per capita de R\$ 802,00 e um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 10.107.596,00 (PMGIRS, 2014). É a terceira cidade mais antiga do Brasil, com 433 anos.

Segundo IBGE (2015), a densidade bruta foi 4.926,04 hab/ha, densidade total foi 3.742,46 hab/ha, número de domicílios no município de João Pessoa foi de 210.990 e a quantidade de pessoas por domicílio foi de 3,75. O IBGE, em 2015, estimou a população de João Pessoa em 787.362 habitantes e a população da grande João Pessoa (incluindo os três municípios que utilizam o aterro sanitário), foi estimada no ano de 2015 em 1.102.051 habitantes.

A Figura 2 mostra a Localização do estado da Paraíba e do município de João Pessoa.

Figura 2 – Localização do município de João Pessoa no estado da Paraíba



Fonte: Google Earth, 2018.

O clima do município de João Pessoa é tropical úmido com temperaturas médias anuais de 25 °C e possui duas estações climáticas definidas apenas pela quantidade pluviométrica, sem alteração significativa na temperatura. As chuvas ocorrem no período de "outono e inverno" e durante todo o resto do ano o clima é muito quente. A umidade relativa do ar média anual é de 83% (IBGE, 2015).

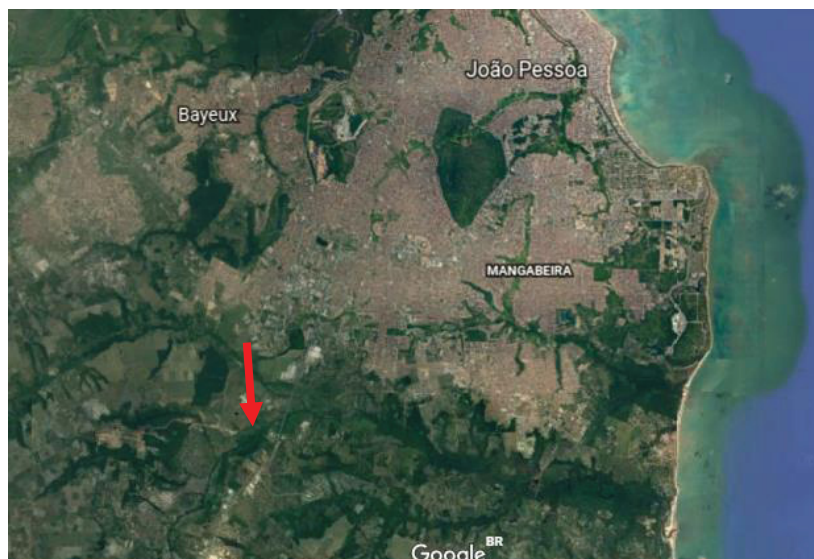
A densidade média de pessoas por domicílio vem decrescendo desde a década de 1990, quando era de 4,37 (pessoas/domicílio), passou para 4,14 em 1996, e 3,93 no censo de 2000. Decresceu, novamente, em 2010, para 3,56 (pessoas/domicílio) (PMGIRS, 2014).

Segundo Nóbrega (2003) o Lixão de São Miguel foi a primeira área utilizada para disposição de resíduos sólidos. Após a extinção desta área, um novo terreno foi cedido à prefeitura para dispor os RSU, de maneira provisória. Esse terreno situava-se num

manguezal adjacente ao Rio Sanhauá, afluente do estuário do Rio Paraíba, que passou a ser uma área de lixão a partir do ano de 1958. Foi nomeado, inicialmente, como Batalhão e logo após renomeado a Lixão do Roger. O novo lixão que deveria ter uma vida útil de três anos e receber resíduos apenas de João Pessoa, funcionou durante 45 anos, recebendo nos últimos anos de funcionamento, resíduos de Bayeux e Cabedelo, visto que seus respectivos lixões estavam desativados pelo Ministério Público, chegando a receber em média 900 t/dia. A área cresceu significativamente até o ano de 2003 e atraiu pessoas que utilizavam os resíduos sólidos como fonte de renda e sobrevivência, ocupando áreas adjacentes, formando a comunidade conhecida como “Favela do S”.

A Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana - EMLUR, em 1997, projetou o fechamento e remediação da área do Lixão do Roger, além da operacionalização do ASMJP. Houve também uma preocupação social com as famílias que ocupavam aquela área, que foram transferidas para um condomínio no Bairro São José (NÓBREGA, 2003).

Figura 3 – Localização do Aterro Sanitário Metropolitano no município de João Pessoa/PB



Fonte: Google Earth, 2018.

Figura 4 – Imagem de satélite do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa/PB



Fonte: Google Earth, 2018.

O Aterro Sanitário Metropolitano construído no município de João Pessoa, ocupa cerca de 100 ha, o que corresponde a 2,1% do município que tem 210 km², conforme podemos ver nas Figuras 3 e 4. O ASMJP localiza-se a 19 km do centro comercial do município, na porção sudoeste de João Pessoa, em terreno próprio desmembrado da Fazenda Mumbaba III (SUDEMA, 2002). O aterro está em funcionamento desde agosto de 2003, foi projetado para 24 células de 150 x 150 x 20 metros e ter uma vida útil de 25 anos, ou seja, já possui quase 15 anos de operação. Sua construção teve o valor estimado em 11 milhões de reais, financiado através de convênio com o Ministério do Meio Ambiente (NÓBREGA, 2003).

A Figura 5, mostra a Célula C25A em operação no ano 2016.

Figura 5 - Imagem da operação da Célula C25A de RSU do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa



Fonte: PIMENTEL, 2017.

É importante ressaltar que a capital paraibana não possui mais áreas que possibilitem a instalação de um novo aterro sanitário, problemática que está presente na maioria das capitais do Brasil.

A Figura 6 mostra o Galpão de Triagem do Aterro, os escritórios, algumas vias de acesso, laboratório, alojamentos, e a oficina.

Figura 6 – Localização do Núcleo de triagem do ASMJP



Fonte: JOÃO PESSOA (2014b).

Na figura 7 são mostrados as células e o sistema de tratamento de chorume que fazem parte do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa.

Figura 7 - Vista aérea das Células e do sistema de tratamento de chorume do ASMJP



Fonte: JOÃO PESSOA (2014b).

3.2 Metodologia

A metodologia da presente pesquisa buscou-se em uma pesquisa do tipo exploratório descritivo com uma abordagem quantitativa, permitindo, o investigador a aumentar sua experiência em torno do problema.

A estimativa de emissão de CH₄, baseou-se na disposição dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa, no ano de 2015.

Para a estimativa de emissão de metano, a metodologia utilizada foi dividida em dois momentos: a pesquisa bibliográfica e a análise dos dados. No segundo momento, foi feita a análise dos dados a partir do trabalho realizado por Pimentel (2017), pois nele foram obtidas as quantidades de resíduos dispostos no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa e a partir de então estimar a quantidade de CH₄ emitido. Os demais dados foram coletados de diversos órgãos, citados ao longo do texto.

A metodologia utilizada para estimar a emissão de CH₄ foi baseada no *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories* elaborado pelo IPCC (1996).

De acordo com a metodologia de 1996 (IPCC, 1996), a determinação da emissão anual de CH₄, para cada país ou região, pode ser calculada pela Equação 1.

$$Q_{CH_4} = (Popurb. taxaRSD. RSDf. FCM. COD. COD_F. F. \frac{16}{12} - R). (1 - OX)$$

Porém, o início dessa equação foi alterado, visto que já se conhece a quantidade de resíduos sólidos recebidos no aterro sanitário, que representa a quantidade de resíduo gerado pela população e é equivalente a $Pop_{urb} \cdot taxaRSD \cdot RSD_f$.

$$Q_{CH_4} = (RSU_{rec} \cdot FCM \cdot COD \cdot COD_F \cdot F \cdot \frac{16}{12} - R) \cdot (1 - OX) \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

- Q_{CH_4} : quantidade de CH_4 produzido [t CH_4 /ano]
- RSU_{rec} : quantidade de resíduos sólidos recebidos no aterro [t/ano]
- FCM : Fator de correção de metano [fração adimensional]
- COD : Carbono orgânico degradável no resíduo sólido domiciliar [fração adimensional]
- COD_F : Fração de COD que realmente degrada [fração adimensional]
- F : Fração de CH_4 no gás de aterro [fração adimensional]
- $16/12$: Taxa de conversão de carbono em metano [fração adimensional]
- R : Quantidade de metano recuperado [t CH_4 /ano]
- OX : Fator de oxidação [fração adimensional]

Este método é muito simples para o cálculo das emissões de CH_4 . É baseado na aproximação de balanço de massa e não incorpora todos os fatores de tempo, já que pressupõe que todo o CH_4 potencial é liberado dos resíduos no ano em que foram depositados. Embora isto não aconteça na realidade, a metodologia fornece uma estimativa razoável das emissões atuais, sempre e quando a quantidade e composição dos resíduos depositados tiver sido constante ao longo dos anos anteriores ((TARAZONA, 2010). Essa metodologia permite estimar o conteúdo de Carbono Orgânico Degradável (COD) dos resíduos sólidos, ou seja, o carbono orgânico que é suscetível à decomposição bioquímica, sendo esta estimativa utilizada para calcular a quantidade de CH_4 que pode ser gerada (TARAZONA, 2010).

A seguir, serão descritos cada um dos fatores.

3.2.1 Fator de correção para o CH₄ (FCM)

O IPCC (1996) recomenda valores de FCM de acordo com o tipo e características do local de disposição final de resíduos sólidos, mostrados na Tabela 1. Neste trabalho será considerada apenas uma situação, visto que se trata de um aterro sanitário, sendo o valor deste fator igual a 1 durante o período considerado pela pesquisa.

Tabela 1: Valores para Fator de Correção de Metano (FCM), de acordo com o recomendado pelo IPCC

Valores para Fator de Correção de Metano (FCM)	
Tipo de local de disposição	FCM
Vazadouros a céu aberto (Lixão)	0,4
Aterro Controlado	0,8
Aterro Sanitário	1
Local sem categoria	0,6

Fonte: IPCC, 1996.

3.2.2 Caracterização gravimétrica dos resíduos de João Pessoa

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ANB – NBR 10.0007, 2004), caracterização consiste na determinação dos constituintes e suas respectivas porcentagens em peso, em uma amostra de resíduos sólidos, podendo ser físico, químico e biológico.

Conhecer a evolução da produção de resíduos e dos seus diversos componentes ajuda a analisar e dimensionar a gestão e gerenciamento dos RSU, a partir de avanços na coleta, transporte, tratamento e destino final, além dos recursos humanos e financeiros do sistema. A caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos, auxilia o planejamento e avaliação da coleta seletiva, além de servir como fonte de informação e conhecimento para a população (fonte geradora), servindo de incentivo para reduzir a geração.

E alguns lugares, pouco se sabe a respeito dos resíduos sólidos que são gerados, faltando conhecimento em relação a quantidade, tipo, quantidade de material potencialmente reciclável e valorizado. Essa questão faz com que a população não possua conhecimento do assunto, trazendo ineficiência no sistema de aproveitamento de resíduos e seleção inadequada de locais para disposição final. Por esse motivo, é extremamente importante conhecer a composição dos resíduos sólidos gerados.

A PNRS, no Brasil, não trouxe a exigência da caracterização, nem o método para realização no âmbito dos Planos Estaduais e Municipais. O PMGIRS determina que a

cada dois anos seja realizada uma caracterização de resíduos sólidos urbanos no município.

Segundo Pimentel (2017), além de determinar os componentes relevantes para determinado local, é importante conhecer os tipos de resíduos que cada região gera e ter conhecimento até dos seus subcomponentes de tal forma a custear a técnica e agregá-la aos objetivos da caracterização. Visto que o Brasil não possui legislação específica que determine a composição dos RSU, para esta etapa da pesquisa realizada por Pimentel (2017), ela utilizou a metodologia francesa, MODECOM, que define treze categorias e subcategorias dos componentes de resíduos (Tabela 2).

Tabela 2 – Categorias MODECOM utilizadas na caracterização dos RSU de João Pessoa

Categorias caracterizadas	Componentes
Resíduo Verde	Poda em geral e coco
Fração Orgânica	Restos de Alimentos e de preparo
Papel	Jornal, revistas, papeis em geral
Papelão	Caixas, embalagens, entre outro
Plástico	Sacola, pet, descartáveis e embalagens
Vidro	Todas as vidrarias, exceto espelho
Metal	Ferrosos e não ferrosos: latinhas, tampinhas e embalagens
Tecido	Roupas, retalhos, lençóis, entre outros
Inflamáveis	Couro, madeira e borracha
Higiene Pessoal	Papel higiênico, absorvente, fraldas e demais utensílios oriundos da higiene
Resíduo Especial	Hospitalar, pilhas, aerossol, tintas e óleos, colas, e produtos com misturados com esses materiais
Inerte	Pedra, osso, cerâmica, porcelana
Finos	Resíduos inferiores à 20mm

Fonte: Adaptado Azevedo Silva, 2012.

Pimentel (2017) utilizou essa metodologia com as mesmas categorias, modificando apenas a categoria de “Resíduo Composto” que foi substituído por “Resíduo Verde” (Tabela 2). Segundo essa autora, a modificação relaciona-se com a grande produção de resíduos verdes no município de João Pessoa.

3.2.3 Carbono orgânico degradável (COD)

O COD é calculado através da relação entre a porcentagem de resíduo e a fração de carbono orgânico degradável, que irá variar de acordo com cada tipo de resíduo (Tabela 3).

Tabela 3 - Frações de carbono orgânico degradável (DOC) por diferentes tipos de resíduos

Dado default de DOC	
Fração do resíduos	Percentual do DOC (em peso)
A - Papéis e têxteis	40
B - Resíduos de parques e jardins e outros orgânicos putrescíveis, exceto alimento.	17
C - Resíduos alimentares	15
D - Resíduos de madeira e palha	30

Fonte: IPCC, 1996.

Portanto, a partir dos dados expostos na Tabela 3, o COD poderá ser calculado a partir da Equação 2.

$$COD \text{ (por peso)} = [0,4 * (A)] + [0,17 * (B)] + [0,15 * (C)] + [0,3 * (D)] \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

A: porcentagem dos RSU que correspondem ao papel e os tecidos;

B: porcentagem dos RSU de jardins, parques e outros orgânicos putrescíveis exceto alimentos;

C: porcentagem dos RSU que correspondem resíduos de alimentos;

D: porcentagem dos RSU que correspondem resíduos de madeira e palha.

3.2.4 COD que realmente se degrada (COD_f)

O carbono orgânico degradável não se decompõe completamente e uma parte desse material permanece no aterro durante bastante tempo, o COD_f, representa a parte que se degrada. O IPCC (1996) recomenda um valor de 0,77.

3.2.5 Fração do carbono liberado como CH₄ (F)

Basicamente dois gases (CH₄ e CO₂) são gerados em maior proporção, a partir da decomposição dos RSU. Segundo Oliveira (2009), a proporção de metano é igual a aproximadamente 50%, podendo variar entre 45% e 60%. O IPCC recomenda um valor de 0,5, que representa uma fração de 50% de metano no biogás de aterro.

3.2.6 CH₄ recuperado (R)

O metano recuperado é aquela parte que foi gerada e queimada nos *flares* ou utilizado para produção de energia. Esse dado só é válido se houver registros

documentados da recuperação do gás no aterro sanitário, logo como não há registros em relação ao Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa, utiliza-se o valor do *default* para o CH₄ recuperado que é igual a zero (IPCC, 2000).

3.2.7 Fator de Oxidação (OX)

É aquele metano oxidado nas camadas superiores da massa de resíduos e de material de cobertura, onde o oxigênio está presente. É importante levar em conta a oxidação, porque esta pode reduzir a quantidade de CH₄ gerado. Na ausência de dados, o fator de oxidação do CH₄ tem um valor zero, já que não existem valores aceitos internacionalmente.

3.3 Geração de resíduos sólidos

Segundo Pimentel (2017), a coleta convencional dos resíduos sólidos do município é realizada por três empresas contratadas, que coletam os resíduos das residências, dos pontos comerciais e dos serviços de limpeza pública. Porém, os demais resíduos (poda, serviços de saúde, oriundos de obras, industriais, dentre outros), são de responsabilidade dos próprios geradores. A coleta convencional dos RSU domésticos, comerciais e de serviços públicos tem como destino final o ASMJP. Ao chegar no aterro, o caminhão primeiramente é pesado e é registrado no sistema, os dados da massa bruta e massa líquida (que é calculada após pesagem do caminhão vazio, sendo o seu peso a tara). Os horários de entrada e saída do caminhão também são registrados, juntamente do bairro que foi atendido.

No meio urbano, como já visto, é possível identificar diversos tipos de resíduos, como domiciliares, comerciais, resíduos de serviços públicos, resíduos da construção civil, resíduos de serviços de saúde, resíduos eletrônicos, industriais, entre outros. Na Figura 8, estão mostrados todos os resíduos encontrados no município de João Pessoa, destacando os tipos de resíduos que são foco desta pesquisa.

Figura 8 - Resíduos sólidos gerados em João Pessoa, com detalhe para os resíduos incluídos neste trabalho



Fonte: Pimentel, 2017.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da metodologia utilizada, foi possível gerar valores estimados da emissão de CH₄ no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa. Os resultados apresentados são referentes ao ano de 2015, lembrando que o aterro se localiza em João Pessoa, mas recebe resíduos sólidos de outros municípios, que estão mostrados na Tabela 4.

O método apresentado neste trabalho é uma estimativa teórica. Esse método envolve a estimativa da quantidade de carbono orgânico degradável presente no lixo, calculando assim a quantidade de metano que pode ser gerada por determinada quantidade de resíduo depositado, considerando categorias de resíduos sólidos domésticos

4.1 Situação das Emissões de metano (CH₄) em 2015

4.1.1 População

As populações dos respectivos municípios que utilizam o aterro em questão, estão mostradas na Tabela 4. Utilizou-se os dados estimados pelo IBGE (2015), referentes ao mesmo ano.

Tabela 4 - População total dos municípios que utilizam o ASMJP referente ao ano de 2015 (estimativa segundo o último censo em 2010)

Região	Municípios	Habitantes (2015)
Região Metropolitana de João Pessoa	João Pessoa	787.362
	Santa Rita	134.940
	Bayeux	96.140
	Conde	23.975
	Cabedelo	65.634
Total		1.102.051

Fonte: IBGE, 2015.

A Região Metropolitana de João Pessoa é integrada por doze municípios, de acordo com a Lei Complementar Estadual N° 90/2009, porém quatro deles são conurbados (João Pessoa, Bayers, Santa Rita e Cabedelo), por causa da posição geográfica relacionadas as atividades comerciais e industriais (PMGIRS, 2014). No caso da destinação final dos resíduos sólidos destes municípios, o município do Conde também é adicionado a região metropolitana. Em relação aos demais municípios, não utilizam o Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa.

4.1.2 Fator de correção para o CH₄ (FCM)

Neste trabalho foi considerada apenas uma situação, visto que se trata de uma área de estudo (ASMJP), sendo o valor deste fator igual a 1 durante o período considerado pela pesquisa, de acordo com a Tabela 1.

4.1.3 Composição Gravimétrica dos RSU

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do município de João Pessoa, foi feita durante o estudo elaborado por Pimentel (2017), referente ao ano de 2016. Portanto, como esta foi a gravimetria mais atual, ela foi considerada para o presente trabalho, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 - Composição gravimétrica dos Resíduos Sólidos em JP com destaque para os fatores A, B, C e D para determinação do COD

Composição gravimétrica de resíduos (% em peso)	
Tipo de Resíduo	Região Metropolitana
Massa Orgânica	33% ← C
Resíduos Verdes	16% ← B
Plásticos	10%
Inflamáveis	6% ← D
Papelões	5%
Papel	3% ← A
Têxteis	2% ← A
Inertes	2%
Vidro	2%
Especiais	2%
Metais	1%
Finos	10%
Higiene Pessoal	9%

Fonte: Adaptado pelo autor. Musse, 2010.

Os papelões não foram incluídos, pois são destinados à reciclagem, ocorrendo apenas alguns casos isolados, cujo são agregados aos demais resíduos.

A caracterização gravimétrica, apresenta um grande percentual de resíduos orgânicos. Este fator mostra que ainda há deficiência no ramo da compostagem, visto que estes resíduos poderiam chegar ao aterro em menor quantidade, se houvesse conhecimento suficiente no assunto e áreas destinadas especialmente para este resíduo.

4.1.4 Carbono orgânico degradável (COD)

Para o cálculo do COD utilizou-se o método representado pela Equação 2, permitindo chegar a um resultado de **0,1147 tCarbono/tResíduo** para o COD. Comparando este valor a um estudo similar, Otto (2016) calculou o carbono orgânico degradável e chegou a um número um pouco inferior referindo-se ao mesmo ano do presente trabalho (0,1530 tCarbono/tResíduo), essa diferença pode ser justificada a partir do número de habitantes do município de Campo Grande-MS, no ano de 2015.

No caso da pesquisa realizada por Musse (2010), para o aterro localizado na região metropolitana do Rio Grande do Norte, o COD foi de aproximadamente 0,1478 tCarbono/tResíduo.

4.1.5 Resultado final a partir da metodologia apresentada pelo IPCC

Com o resultado do carbono orgânico degradável presente nos resíduos para o ano de 2015 e as demais variáveis calculadas, foi possível aplicar a metodologia revisada do IPCC (1996) que permite estimar a geração de CH₄ por ano. Segundo Figueiredo (2007), considerando a densidade do CH₄ (0°C e 1,013 bar) como 0,0007168 t/m³, foi possível estimar a quantidade de CH₄ emitida em m³CH₄/ano, a partir da degradação dos resíduos depositados no ASMJP no ano de 2015 (Tabela 6).

Tabela 6 – Resultado Final de Emissão de Metano por Aterro Sanitário e Lixões – 2015

Região Metropolitana de João Pessoa	
Habitantes (hab)	1.102.051
FCM	1
COD_F	0,77
COD	0,1948
F	0,5
R	0
16/12	1,33
OX	0
Resultado Final (tCH₄/ano)	38.496,44

Fonte: Adaptado pelo autor. Musse, 2010.

Portanto, o cálculo para estimativa teórica da quantidade de gás metano emitido durante o ano de 2015 a partir da degradação dos resíduos sólidos do ASMJP foi de **38.496,44 tCH₄/ano** ou **53.705.977,62 m³CH₄/ano**. Otto (2016) concluiu que no ano de 2015 o Aterro Sanitário de Campo Grande/MS estudado pelo autor, emitiu 4.844,99 tCH₄/ano, que devido ao número de habitantes e outros fatores, foi bem inferior ao valor do presente trabalho.

Segundo Coelho e Oliveira (2012), a quantidade de metano gerado no ano de 2010 no Aterro Sanitário de Palmas/TO foi de 183.292,307 m³CH₄/ano, que também foi inferior ao presente trabalho por motivos semelhantes ao trabalho anterior.

A partir da estimativa da emissão de CH₄, foi calculada a quantidade do biogás gerado e a quantidade de CO_{2e}. O biogás resultou em 76.992,88952 t/ano e 107.411.955,2 m³/ano, visto que corresponde ao dobro do valor estimado de CH₄. E o cálculo do CO_{2e} foi realizado a partir da relação entre 1 t de CH₄ corresponde a 20 t de CO₂, o CO_{2e} foi estimado em 769.928,8952 t.

4.2 Geração de resíduos sólidos

Com o intuito de cumprir todos os objetivos previstos neste trabalho, este tópico traz a quantidade de resíduos que foram depositados no ASMJP no ano de 2015. Na Tabela 7, pode-se observar a quantidade de resíduo sólido que cada município gera anualmente.

Tabela 7 – Quantidade de resíduos sólidos recebidos no ASMJP – 2015

Resíduos Sólidos (t/ano)							
Ano	Santa Rita	Conde	Cabedelo	Bayeux	João Pessoa	Outros	Total
2015	67.125,34	8.619,53	49.335,25	32.650,23	478.415,40	17.837,04	653.982,8

Fonte: Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (2015).

Desde o ano 2000 um trabalho foi realizado, junto aos municípios envolvidos na Área Metropolitana, objetivando realizar estudos que resultassem na formação de um Consórcio Intermunicipal, para atender as questões mais urgentes a todos estes municípios. Assim, em 2002 foi instituído, juridicamente o Consórcio de Desenvolvimento Intermunicipal da Área Metropolitana de João Pessoa – CODIAM, que atende a sete municípios (Santa Rita, João Pessoa, Cabedelo, Bayeux, Conde, Cruz do Espírito Santo e Lucena). Como relatado anteriormente, o Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa além de receber os resíduos da capital paraibana também recebe dos municípios de Cabedelo, Bayeux, Santa Rita e Conde organizados em consórcio (JOÃO PESSOA, 2014).

Como pode-se observar na Tabela 7, a Prefeitura Municipal de João Pessoa, aterra cerca de 75,41% dos resíduos que chegam ao ASMJP, acarretando uma média anual de 305.454,20 toneladas (EMLUR, 2014). Sendo o restante dos resíduos destinados a reciclagem.

5 CONCLUSÕES

A geração anual de Resíduos Sólidos Urbanos na Região Metropolitana de João Pessoa, dispostos no ASMJP, emite gases do efeito estufa, dentre eles o gás metano, que ao invés de ser liberado diretamente na atmosfera, como no caso dos lixões, permite o gerenciamento e reaproveitamento do biogás.

Assim, a partir dos dados coletados e realização dos cálculos, foi possível estimar a quantidade de CH₄ liberado na atmosfera a partir da degradação dos resíduos sólidos.

Mesmo se o ASMJP não implementar unidades de geração de energia, o fato de captar corretamente estes gases e gerenciá-los com a queima que transforma CH₄ em CO₂, cujo foi demonstrado nos resultados, relacionando o valor de gás metano emitido com o gás carbônico equivalente, podendo gerar créditos de carbono, abrindo oportunidades de negócios sustentáveis, melhorando a qualidade ambiental do Estado e, conseqüentemente a qualidade de vida da população.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUTARQUIA ESPECIAL MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA (EMLUR). **Monitoramento Geotécnico e Ambiental do ASMJP**. João Pessoa, 2014.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2017.

COELHO, T. C; OLIVEIRA, R. M. S. **Estimativa da produção teórica de metano gerado no aterro sanitário de Palmas/TO**. Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n. 1, p. 177-189, jan./mar.2012.

Comissão Mista Permanente Sobre Mudanças Climáticas (CMMC). **Legislação Brasileira Sobre Mudanças Climáticas**. Brasília, 2013.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). **1º Relatório de Referência do Estado de São Paulo de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, período de 1990 – 2008**. São Paulo, 2010.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). **Inventário Nacional de Emissões de Metano pelo Manejo de resíduos: Relatório Final**. São Paulo, 1998.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). **1º Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do Estado de São Paulo: Sumário Executivo**. São Paulo, 2011.

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, 2007.

ICLEI. **Manual para aproveitamento do biogás.** ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, v. 1, 80p., 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Indicadores de desenvolvimento sustentável:** Brasil 2010. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, v. 7, 2010a.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. ***Solid Waste Disposal – Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.*** Report produced by Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) on the invitation of the United Nations Framework Convention on Climate Change, London, 2006.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. ***Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.*** Report produced by Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) on the invitation of the United Nations Framework Convention on Climate Change, London, 1996.

MUSSE, L.; LOPES, R. **Estimativa de emissão de gases de efeito estufa a partir da degradação de resíduos depositados em aterros sanitários no ano de 2010 no Rio Grande do Norte,** Rio Grande do Norte, 2010.

NÓBREGA, C. C. **Viabilidade Econômica, com Valorização Ambiental e Social, de Sistemas de Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Domiciliares – Estudo de Caso: João Pessoa/PB.** 2003. 176 f. Tese (Doutorado Temático em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.

OTTO, H.R. **Estimativa teórica das emissões de metano e aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos – Aterro Sanitário de Campo Grande/MS.** 33f. Monografia (Especialização) - Curso de Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono, Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

PEGIRS/RN – Plano Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Norte – **Relatório Síntese.** Natal (RN): Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH, 2012.

PIMENTEL, C. H. **A gestão dos resíduos sólidos urbanos no município de João Pessoa/PB - à luz das rotas tecnológicas**. 280f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). **Emissões do Setor de Resíduos – período de 1970 a 2015**. Outubro, 2017.

TARAZONA, C. F. **Estimativa de produção de gás em aterros de resíduos sólidos urbanos**. 210f. Dissertação (Mestrado em ciências em engenharia civil) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.getres.ufrj.br/pdf/TARAZONA_CF_10_t_M_.pdf>. Acesso em: 01 maio 2018.

_____. **Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), 2014**. . João Pessoa, 2014b. Disponível em: <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/secretarias/emlur/plano-municipal-de-residuos-solidos/>> Acesso: 17 abr. 2018.