



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
UNIDADE ACADÊMICA CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA DA BIOMASSA



TIAGO SANDES COSTA

**ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO SANITÁRIO DA BACIA
LEITEIRA DO ESTADO DE ALAGOAS**

Rio Largo

2016

TIAGO SANDES COSTA

**ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO SANITÁRIO DA BACIA
LEITEIRA DO ESTADO DE ALAGOAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia da Biomassa do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Energia da Biomassa.

Orientador: Prof^o. Dr. Guilherme Bastos Lyra

Rio Largo

2016

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário Responsável: Valter dos Santos Andrade

C837e Costa, Tiago Sandes.
Estimativa de geração de biogás no aterro sanitário da bacia leiteira do Estado de Alagoas / Tiago Sandes Costa. – 2016.
45 f. : il.

Orientador: Guilherme Bastos Lyra.
Dissertação (Mestrado Profissional em Energia da Biomassa) – Universidade Federal de Alagoas. Programa de Pós-Graduação em Energia da Biomassa. Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2016.

Bibliografia: f. 41-45.

1. Biomassa. 2. Aterro sanitário – Alagoas. 3. Energia – Fontes alternativas. I. Título.

CDU: 620.91

TERMO DE APROVAÇÃO

TIAGO SANDES COSTA

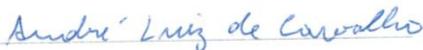
ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO SANITÁRIO DA BACIA LEITEIRA DO ESTADO DE ALAGOAS

Esta dissertação foi submetida a julgamento como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre Profissional em Energia da Biomassa, outorgado pela Universidade Federal de Alagoas.
A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

Aprovado em 03/105/2016


Prof.º Dr. Guilherme Bastos Lyra

Orientador (UFAL)



Prof. Dr. André Luiz de Carvalho

Membro (CECA-UFAL)



Prof. Dr. Stoécio Malta Ferreira Maia

Membro (IFAL)



Prof. Dr. Elton Lima Santos

Membro (CECA-UFAL)

Rio Largo – AL

2016

Aos meus pais, aos meus irmãos, a minha esposa Gisele e aos meus filhos
Gabriel e Miguel.
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Diante de tantas dificuldades, esse é ponto culminante de todo um tempo dedicado a vida acadêmica, refletindo, estudando, compartilhando e aprendendo.

Primeiramente agradeço a Deus que em todos os momentos esteve comigo, me dando forças nos momentos mais difíceis. Meus sinceros agradecimentos aos meus irmãos Tácio e Thallita e aos meus pais James e Josélia que em todos os momentos da minha vida me apoiaram, deu-me forças pra continuar caminhado sempre em frente, em busca dos meus objetivos, um deles hoje alcançados.

Não poderia esquecer minha esposa, que sempre se fez presente e faz parte desta vitória, a você Gisele fica descrito quanto estou agradecido e o quanto vou precisar de você.

Aos professores do programa de Pós-Graduação em Energia da Biomassa por todos os ensinamentos compartilhados.

À coordenação e ao colegiado do programa de Pós-Graduação em Energia da Biomassa pela oportunidade proporcionada em dar continuidade à minha formação profissional.

Ao meu professor orientador Dr. Guilherme Bastos Lyra, meus agradecimentos pelas dedicadas vezes que o procurei para me orientar.

Aos representantes da Secretaria de Agricultura e Meio Ambiente, senhores Djalma e Klester e as senhoras Glaucia e Paula, pela disposição em me acompanhar nas atividades de campo em Olho D'água das Flores, AL.

Agradeço também a minha turma, 1ª turma do mestrado em Energia da Biomassa (2013.2), onde vivenciamos tantos momentos juntos, e que contribuíram direta e indiretamente para esse trabalho. O resultado de tudo isso é que vale a pena lutar, lutar sempre, vencer ultrapassando barreiras, e isso aprendi com cada um de vocês. Fica aqui meu agradecimento ao companheirismo e a compreensão a todos os meus colegas do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas.

Enfim, agradeço a todos que junto comigo percorreram os trilhos desta grande viagem que foi a conclusão deste curso.

RESUMO

As fontes de energias alternativas apresentam-se como principal indutor da matriz energética mundial tendo como base principal os biocombustíveis provenientes da Biomassa. No Brasil, com a crise do petróleo na década de 1970, foram feitas experiências pioneiras na utilização do biogás, chegando a canalizar o gás até as residências e indústrias. Recentemente, com a crise energética no país, estudiosos retomaram as pesquisas para produzir energia elétrica através de turbinas especiais que funcionam através da queima do gás, transformando essa energia em eletricidade. O biogás tem em sua composição o dióxido de carbono (CO_2) e o gás metano (CH_4), sendo esse último o principal precursor, enquanto combustível, para utilização como fonte de energia. Resultante da decomposição de matéria orgânica, o estudo a ser desenvolvido visa avaliar a viabilidade da utilização de biodigestores para o aproveitamento energético do biogás produzido pela decomposição da matéria orgânica dos resíduos sólidos urbanos, os quais contêm significativa parcela de matéria orgânica biodegradável que passam por um processo de digestão anaeróbia transformando lixo em energia limpa. O procedimento metodológico, adotado a partir da perspectiva de emissão de metano em aterros, se deu a partir da aplicação do método do IPCC. Método esse, geralmente aplicado para projetar cenários de aterros que ainda não estão operando. Os aterros sanitários são considerados uma das alternativas mais viáveis para geração do biogás, visto que podem dispor de técnicas de captação dos gases liberados através de dutos de captação e queima do mesmo. Aprovado pelo conselho Estadual de Proteção Ambiental, a licença para implantação do aterro sanitário que faz referência ao Consórcio Intermunicipal de Gestão dos Resíduos Sólidos (CIGRES) da bacia leiteira deve atender 16 municípios do sertão e da bacia leiteira eliminando, assim, os lixões da região. O presente trabalho buscou contribuir com cenários frente às discussões sobre a necessidade de se investir em energias alternativas que minimizem o estágio atual de emissões de gases estufa, bem como, mostrar o potencial energético que esse gás possui e a possibilidade de transformação do metano em energia útil, tornando o biogás um gás lucrativo e mitigando o problema da poluição. O aterro apresenta uma prospecção de gerar $5.211.050 m^3 CH_4$ entre o período apresentado (2015 – 2050) e até 2036, o aterro vai gerar $2.960.351 m^3 CH_4$, chegando a produzir em média $144.751,4 m^3 CH_4$ /ano. Para projetar à estimativa foi utilizado o modelo do IPCC, método esse já consagrado na literatura.

Palavras-chave: Biomassa. Aterro Sanitário. Energia Alternativa.

ABSTRACT

Alternative energy sources are presented as the main inductor of worldwide energy matrix, having biofuels from biomass as its main base. In Brazil, with the oil crisis in the 1970s, pioneering experiments were made in the use of biogas, channeling gas to homes and industries. Recently, with the energy crisis in the country, scholars have resumed research to produce electric power through special turbines that operate by burning gas, turning that energy into electricity. Biogas has in its composition carbon dioxide (CO_2) and methane (CH_4). Methane - as a fuel - is the main precursor for energy source use. Resulting from organic matter decomposition, the study to be developed aims to assess the feasibility of using biodigesters for the biogas energetic exploitation produced by the decomposition of organic matter found in municipal solid waste, which contains significant amount of biodegradable organic matter that undergo an anaerobic digestion process turning waste into clean energy. The methodological procedure adopted from the perspective of the emission of methane in landfills, if gave from the application of the method of the IPCC. Method this, usually applied to design scenarios of landfills that are not yet operating. Landfill sites are considered one of the most viable alternatives for biogas generation, as they may have techniques for capturing released gases by pickup pipes and its burning. Approved by the State Council of Environmental Protection, the license for sanitary landfill implementation that refers to the Inter-municipal Consortium of Solid Waste Management (ICSWM) - (CIGRES) in the dairy farming, must meet 19 municipalities in the hinterland and the dairy production chain, thus eliminating the dumps in the region. This study aimed to contribute with scenarios forward to the discussions on the need to invest in alternative energy sources that reduce the current stage of greenhouse gases emissions, as well as showing the energy potential that these gases have and the possibility of transforming methane into helpful energy, making biogas a profitable gas, mitigating pollution problems. The landfill has a prospect to generate $5.211.050m^3CH_4$ between the reporting period (2015 - 2050) and until 2036, the landfill will generate $2.960.351m^3CH_4$, starting produce an average $144.751,4m^3CH_4$ /year. To design the estimate was used the IPCC model, this method already established in the literature.

Keywords: Biomass. Landfill. Alternative Energy.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Modelo do Banco Mundial.....	26
Equação 2 – Modelo LandGEM.....	26
Equação 3 – Estimativa de potência.....	26
Equação 4 – Energia disponível.....	26
Equação 5 – Inventário desenvolvida pelo IPCC (1996).....	29
Equação 6 – Potencial de geração de metano.....	29
Equação 7 – Carbono degradável.....	30
Equação 8 – Fração de carbono.....	31
Equação 9 – Fração de carbono.....	31
Equação 10 – potencial de geração de metano.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de ordenamento de Alagoas para gestão de resíduos sólidos...	14
Figura 2 – Diagrama De Ennio.....	20
Figura 3 – Destinação final de RSU no Brasil.....	21
Figura 4 – Modelo de aterro sanitário.....	22
Figura 5 - Destinação final de resíduos coletados, por município.....	23
Figura 6 – Imagem da área do desenvolvimento do estudo.....	28
Figura 7 –Gráfico com estimativa de emissão de metano para os anos de 2015 até 2050 no aterro sanitário que será construído em Olho D’água das Flores.....	33
Figura 8 – Gráfico com estimativa de emissão de metano a partir do resíduo orgânico para os anos de 2015 até 2050 no aterro sanitário que entrará em operação em Olho D’água das Flores.....	34
Figura 9 – Gráfico com estimativa de emissão de metano a partir de resíduos têxteis e papel para os anos de 2015 até 2050 no aterro sanitário que entrará em operação em Olho D’água das Flores.....	35
Figura 10 – Gráfico com estimativa de emissão de metano a partir de resíduo de madeira para os anos de 2015 até 2050 no aterro sanitário que entrará em operação em Olho D’água das Flores.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores para o FCM.....	30
Tabela 2 - Composição gravimétrica média dos resíduos sólidos/ Teor de CO degradável.....	32
Tabela 3 - Resíduos, do Guia do IPCC.....	33
Tabela 4 - Comportamento da geração de gás metano e biogás.....	37
Tabela 5 - Potencial de geração de energia.....	37
Tabela 6 - Projeções de (CH_4/m^3 ano) nas seis regiões do Estado de Alagoas.....	39
Tabela 7 - Geração de energia nos aterros sanitários de Alagoas.....	39

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CIGRES	Consórcio Intermunicipal de Gestão de Resíduos
COD	Carbono Orgânico Degradável
CO ₂	Dióxido de Carbono
FCM	Teor de Carbono orgânico Degradável
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
ITP	Instituto de Tecnologia e Pesquisa
KG	Kilograma
LANDGEM	Modelo Emissão de Gases de Aterro
PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

SUMÁRIO

1INTRODUÇÃO	13
2REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 Geração de resíduos e a necessidade do tratamento.....	16
2.2 Energia renovável e limpa: um panorama no uso de energias alternativas no Brasil.....	18
2.3 Biomassa.....	20
2.4 Aterro sanitário.....	21
2.5 Formação e geração de biogás em aterro sanitário.....	23
2.6 Modelos empíricos para estimativa de biogás.....	25
2.7 Equação de inventário desenvolvida pelo IPCC (1996).....	25
2.8 Modelo Banco Mundial.....	26
2.9 Modelagem landgem.....	26
3MATERIAL E MÉTODO	28
3.1 Aplicação do método do IPCC.....	29
4RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
5CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
REFERÊNCIAS.....	41

1INTRODUÇÃO

A disposição final dos resíduos que são lançados *in natura* tem sido pautada em vários estudos nos últimos anos. A problemática em torno da destinação e do tratamento desses resíduos são desafios devido a sua extrema complexidade.

Com o modelo de urbanização em curso no Brasil e o modelo de sociedade baseada no consumismo, resultou em sérios problemas no tratamento dos resíduos urbanos que foram durante os últimos anos descartados na natureza provocando impactos socioambientais irremediáveis. Segundo Ensinas (2003), a disposição final dos resíduos sólidos urbanos é um dos graves problemas ambientais enfrentados pelos grandes centros urbanos em todo o planeta e tende a agravar-se com o aumento do consumo de bens não duráveis.

O aumento vertiginoso da população, principalmente a partir da primeira metade do século XX, contribuiu significativamente na progressão da necessidade de mercadorias e esse mercado, cada vez mais investindo em produtos não duráveis. Estimativas do IBGE demonstram que cerca da metade dos mais de cinco mil municípios lançam seus resíduos em vazadouros a céu aberto. "tal situação se configura como um cenário de destinação reconhecidamente inadequado, que exige soluções urgentes e estruturais para o setor" (Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008 apud Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, 2010, p. 60).

Com isso, também se coloca a necessidade de se discutir uma matriz energética menos poluente, na qual, possibilite o crescimento econômico em detrimento às questões ambientais. Portanto, a diversificação da matriz energética a partir da inserção de fontes limpas traduz uma descentralização dos combustíveis fósseis contribuindo com a mitigação dos impactos no meio ambiente e, por conseguinte, não alterando os climas locais. Essa necessidade se concretiza a partir dos investimentos no tratamento dos resíduos provenientes da Biomassa em depósitos, como os aterros sanitários, para geração de energia elétrica a partir da queima dos gases presentes a partir da decomposição da matéria orgânica.

Implantado na zona rural de Olho D'água das Flores e com uma área de 30 hectares, o aterro sanitário terá capacidade para atender aos 16 municípios consorciados e mais cinco municípios da região, com uma população de mais de 249.704 habitantes, de acordo com o censo do IBGE (2010), o que constitui um marco relevante na destinação adequada do lixo, em consonância com a política nacional definida através da Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. O Projeto pretende ser modelo para outras regiões do

Estado de Alagoas. Ao todo, segundo o CIGRES, esses municípios produzem aproximadamente 70,64 toneladas de lixo por dia. Para apoiar a operação do aterro sanitário, serão instaladas também unidades de transbordo e reciclagem em pontos estratégicos da região. Além disso, o aterro conta com oito filtros, uma célula pronta e três lagoas para início da operação. As áreas degradadas pelos lixões em cada município serão recuperadas após a implantação do aterro sanitário. Tendo como principal pressuposto o tratamento de resíduos sólidos urbanos e a utilização da biomassa para geração de energia, minimizando assim, a dependência dos combustíveis fósseis e reduzindo a necessidade de consumo de energia hidrelétrica, é que se pretende realocar o debate diante dos paradigmas enfrentados na deposição do lixo em lixões.

O aterro sanitário gerenciado pelo CIGRES da Bacia Leiteira e Sertão de Alagoas atenderá os seguintes municípios: Olho d'Água das Flores, Santana do Ipanema, Maravilha, Senador Rui Palmeira, Carneiros, São José da Tapera, Pão de Açúcar, Belo Monte, Palestina, Jacaré dos Homens, Monteirópolis, Olivença, Major Isidoro, Cacimbinhas, Jaramataia e Batalha. A figura 1 retrata a divisão do Estado de Alagoas em regiões onde serão implantados os demais consórcios.

Figura 1 - Mapa de ordenamento do Estado de Alagoas por região para gestão de resíduos sólidos



Mapa 1. CIGRES (municípios marcados na cor rosa claro)

Fonte: CIGRES (2015)

Segundo Cunha (2002), a captação do biogás resultante da decomposição dos resíduos orgânicos compactados em aterros é viável do ponto de vista econômico, energético e ambiental, traz redução de custos para a Prefeitura local e um destino nobre para o lixo.

O aproveitamento do biogás concentrado nas montanhas de lixo de um aterro sanitário para movimentar um gerador, em caráter experimental, se fez necessário para a avaliação da tecnologia, pouco difundida, entretanto, viável no Brasil (CENTRO NACIONAL DE REFERENCIA EM BIOMASSA, 2009).

Portanto, a modelagem dos dados a partir do panorama que será instalado no aterro sanitário no município de Olho D'água das flores será imprescindível para fundamentar a potencialidade de geração de energia a partir do metano gerado.

O presente estudo visa estimar a quantidade de biogás que será gerada no aterro sanitário que se encontra em fase final de conclusão e está instalado na microrregião da Bacia Leiteira de Alagoas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Geração de resíduos e a necessidade do tratamento

O aumento vertiginoso da população mundial e o crescimento desordenado dos núcleos urbanos, precarizam as ações de manejo do residual produzido e retoma a necessidade de disponibilizar mais recursos como alimentos, terra, edificações e demanda por energia. Com o projeto de urbanização em curso no Brasil e o modelo de sociedade baseada no consumismo resultou em sérios problemas no tratamento dos resíduos urbanos que foram durante os últimos anos descartados na natureza provocando impactos socioambientais irremediáveis.

Para Vanzin (2006), os crescimentos da população e das atividades industriais trazem como consequência a demanda, cada vez maior, de energia e o aumento do descarte de resíduos sólidos, que por sua vez, vão gerar problemas ambientais, e demanda maior de custos. Por conseguinte, vai impulsionar a geração de resíduos provenientes da transformação da primeira natureza em segunda natureza. Segundo estudo da ABRELPE (2011), a região Nordeste, é segunda região em geração de resíduos, onde são geradas diariamente em torno de 50 mil toneladas de resíduos, 25% do total. Somente no Brasil, no ano de 2008, com uma população de 189.952 milhões de pessoas, foram coletadas 183.481,50 toneladas de resíduos sólidos por dia nos municípios brasileiros, e destes, 94.335,10 toneladas eram compostos de material orgânico (BRASIL, 2011; IBGE, 2014).

A problemática que envolve esse ciclo é a destinação dos remanescentes que são realocados em áreas inapropriadas, sem estudos de impactos ambientais e sem qualquer seleção causando poluição e, conseqüentemente, contaminação do solo e água, bem como a proliferação de vetores transmissíveis de doenças (MOTA, 2003).

Sancionada em 2 de Agosto de 2010, a Lei 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, é considerada o marco regulatório no que tange a solucionar os problemas econômicos, ambientais e sociais resultantes da destinação inapropriada dos resíduos. Em seu Art. 3º inciso XVI, define resíduos sólidos 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 técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.(BRASIL, 2010. P.84).

Para Silva *et al.* (2010), o risco de degradação ambiental decorre do material orgânico existente nos resíduos sólidos, que produz gases e líquidos de alto potencial poluidor depreciativo. Além de impactar nesses pontos, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) visa equacionar o tratamento aliando a segregação e a correta destinação, além de, propiciar a criação dos consórcios intermunicipais para a substituição dos lixões pelos aterros sanitários que criam caminhos para captura de biogás nos aterros e conseqüentemente a geração de energia e mitigação da emissão de gases nocivos na atmosfera.

De acordo com o IPCC (1996) os aterros são responsáveis por cerca de 5 a 20% do metano que é liberado por fontes que tem em sua origem a atividade humana. O gás metano tem um potencial de aquecimento aproximadamente 20 vezes maior que o do dióxido de carbono, sendo responsável por 25% do aquecimento global (AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS, 2007).

Nesse sentido, Ensinas (2003) diz que, nos aterros sanitários devem ser realizados projetos que visam à recuperação do biogás do aterro para geração de eletricidade, bem como por motivos de segurança, saúde pública e ambiental.

Segundo Zanette (2009), o processo de digestão anaeróbia, o qual ocorre nos aterros sanitários, vem sendo utilizado em diversas aplicações que demonstraram a sua capacidade de tratamento de resíduos sólidos e efluentes líquidos constituídos em sua maior parte de matéria orgânica. O biogás é uma mistura gasosa produzida a partir da decomposição anaeróbia de materiais orgânicos, composta primariamente de metano e dióxido de carbono, com pequenas quantidades de ácido sulfídrico e amônia.

O poder calorífero do biogás varia de 5.000 a 7.000 kcal/m³ em função da percentagem que o metano participa de sua composição, sendo que esse valor pode chegar a 12.000 kcal/m³ se o dióxido de carbono e outros contaminantes forem eliminados da mistura (SILVA, 2009). Segundo PERSSON; JÖNSSON; WELLINGER(2006) o percentual de

metano no biogás de aterros sanitários varia de 35% a 65%, enquanto o de dióxido de carbono de 15% a 50%.

Países como o Brasil, tendo em vista a corrida energética, potencializam os investimentos em fontes de energia alternativa e limpa, como a eólica, Biomassa e solar. De acordo com Willumsen (2001), os países que mais exploram o potencial energético dos aterros sanitários são Estados Unidos, com 325 projetos de recuperação e a Alemanha, com 150, sendo que o Brasil apresenta apenas seis projetos.

2.2 Energia renovável e limpa: um panorama no uso de energias alternativas no Brasil

Com a crescente demanda por energia, que impactou na atual crise energética, o Brasil vem sendo forçado a investir em outras fontes de energia que lhe dê alternância em período de déficit hídrico. De acordo com Silva e Cavaliero (2004), o interesse pela geração de energia a partir de fontes renováveis, principalmente as alternativas (energia solar, dos ventos, biomassa) vem experimentando uma nova fase de crescimento no Brasil. Portanto, abriu-se um leque de necessidades, no qual, fica cada vez mais clara a necessidade de diversificar a matriz energética brasileira.

Como não há em curso uma verticalização da utilização do biogás como fonte de energia no Brasil, se faz necessário à redução da emissão de gases na atmosfera e a remoção do gás carbônico representando um cenário equilibrado, onde as emissões antrópicas de gases ocorreriam na ausência do projeto proposto tendo como análise a venda dos créditos de carbono e a aderência ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Cabe o desafio de fomentar a utilização do potencial do biogás de aterros sanitários para a geração de energia elétrica gerando benefícios ambientais e econômicos.

Para *Le Monde Diplomatique* Brasil (2007, p. 99), numa perspectiva global, a substituição das fontes não-renováveis irá passar por um entrave mais econômico do que político:

As fontes de energia alternativas não se diferenciam das tradicionais apenas por serem sustentáveis. Em todos os casos, sua produção adapta-se muito mais facilmente a um modelo descentralizado e desconcentrador de produção. A lógica não é mais gerar eletricidade em imensos empreendimentos comandados por grandes corporações. Até as pequenas comunidades devem e podem tornar-se autônomas em energia. Para tanto, não é preciso mobilizar enormes volumes de dinheiro. Um sinal de que o capitalismo pode estar sendo superado, também, no terreno em que sempre afirmou sua superioridade: o da —eficiência produtiva.

O resultado mais enfático sobre como o mundo deve gerir pelos próximos anos a produção de energia elétrica, ficou evidente com a regulamentação o uso dessas fontes: O PROINFA. O programa de incentivos às fontes alternativas de energia elétrica (PROINFA) surge com o papel de incentivar a heterogeneidade na produção e geração de energias provenientes da Biomassa e pequenas centrais elétricas, no qual, preconiza uma maior capilaridade na balança energética.

O uso de fontes não-renováveis, já é o maior causador de impactos socioambientais do planeta. O uso de carvão mineral na matriz americana é o maior causador de emissões de gases poluentes (CO₂) tendo o Brasil engrossado esse panorama com as queimadas e principalmente com as hidrelétricas que liberam grandes quantidades de gás Carbônico (CO₂) e revela um alto grau de impactos sociais com a abrangência de suas áreas alagadas. No mundo inteiro, aumentou a busca por energias que liberem menos gases nocivos à atmosfera (SILVA; CAMPOS, 2008).

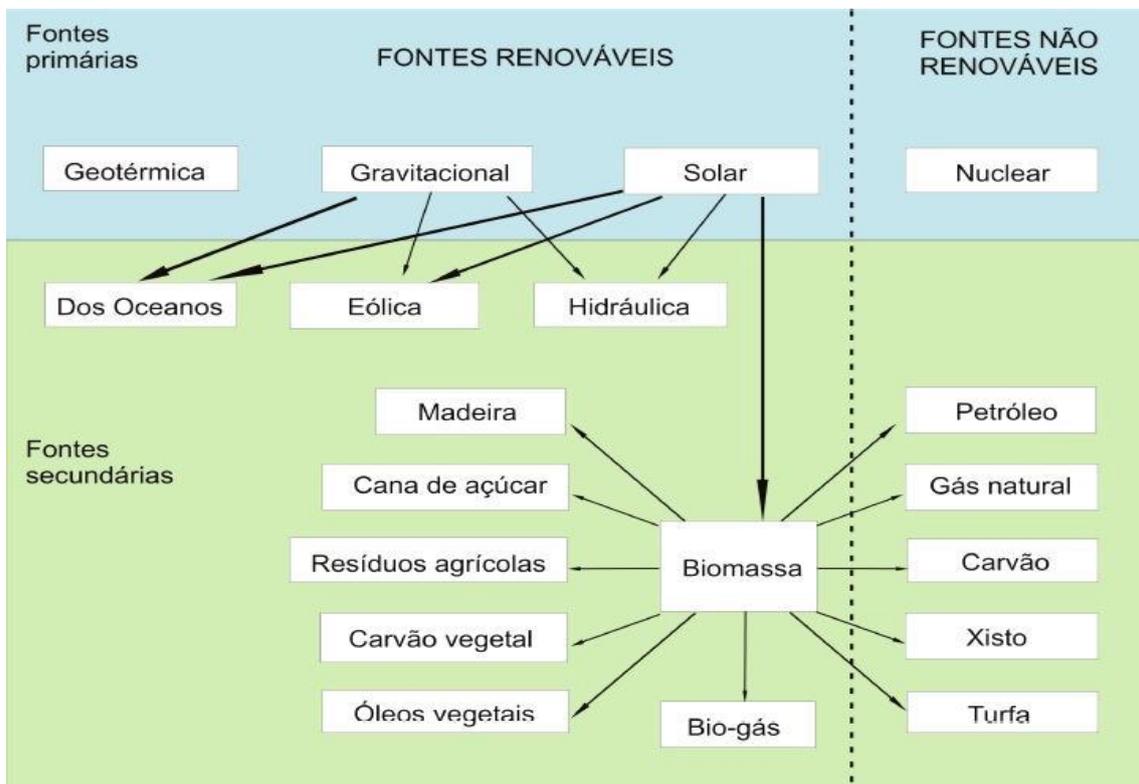
A matriz energética brasileira já possui forte participação das fontes renováveis de energia e contará com uma predominância ainda maior dessas fontes dentro de um prazo de dez anos (TOLMASQUIM, 2012).

Segundo o Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2004), mais de 40% da matriz energética do Brasil é renovável, enquanto a média mundial não chega a 14%. Portanto, a incidência qualitativa no uso de energia proveniente da insolação (solar), da circulação atmosférica (eólica) e da Biomassa, reduz significativamente a injeção de toneladas de gás carbônico na atmosfera. Dentre as fontes citadas, destaca-se o biogás, resultante da deposição e decomposição de resíduos urbanos, como fonte de energia da biomassa.

2.2.1 Biomassa

A Biomassa é classificada como qualquer matéria orgânica que pode ser transformada em energia térmica, mecânica ou elétrica. Dentre as diversas fontes alternativas, a Biomassa vem apresentando um quadro de crescimento na matriz energética. Tanto no mercado internacional quanto no interno, ela é considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a conseqüente redução da dependência dos combustíveis fósseis (BRASIL, 2002). O diagrama de Ennio mostra a heterogeneidade da Biomassa a partir de suas múltiplas fontes retratando o secundarismo em renováveis e não-renováveis.

Figura 2 – Diagrama De Ennio



Fonte: IGNÁCIO (2007)

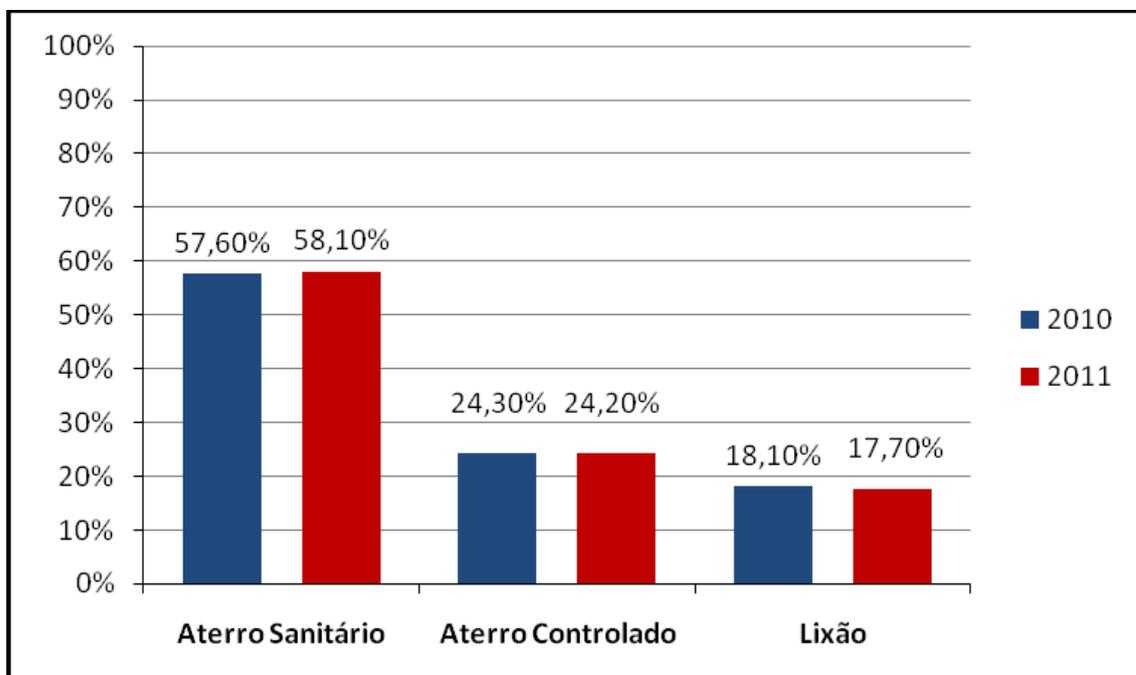
No Brasil, os cenários apontam o crescimento no uso da Biomassa como fonte de energia limpa com a participação de 31% na matriz sendo superada apenas pelo petróleo (BRASIL, 2002)

2.3 Aterro sanitário

A disposição dos resíduos provenientes das áreas urbanas sempre se apresentou como um desafio frente aos impactos econômicos, sociais e ambientais provocadas pelo acúmulo de lixões. Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo – ITP (SÃO PAULO, 2016), o lixão é uma forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos que se caracteriza pela forma inadequada da disposição do resíduo sobre o solo sem critérios de proteção ao meio ambiente e a saúde pública.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992) define aterro controlado como uma técnica de disposição de resíduo no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e a segurança local, minimizando os impactos ambientais, sendo que nesse tipo de aterro, não há impermeabilização do solo, nem coleta de chorume e outros gases. A figura três traz uma perspectiva de estagnação da substituição dos lixões e aterros controlados por aterros sanitários.

Figura 3 - Destinação final de RSU no Brasil



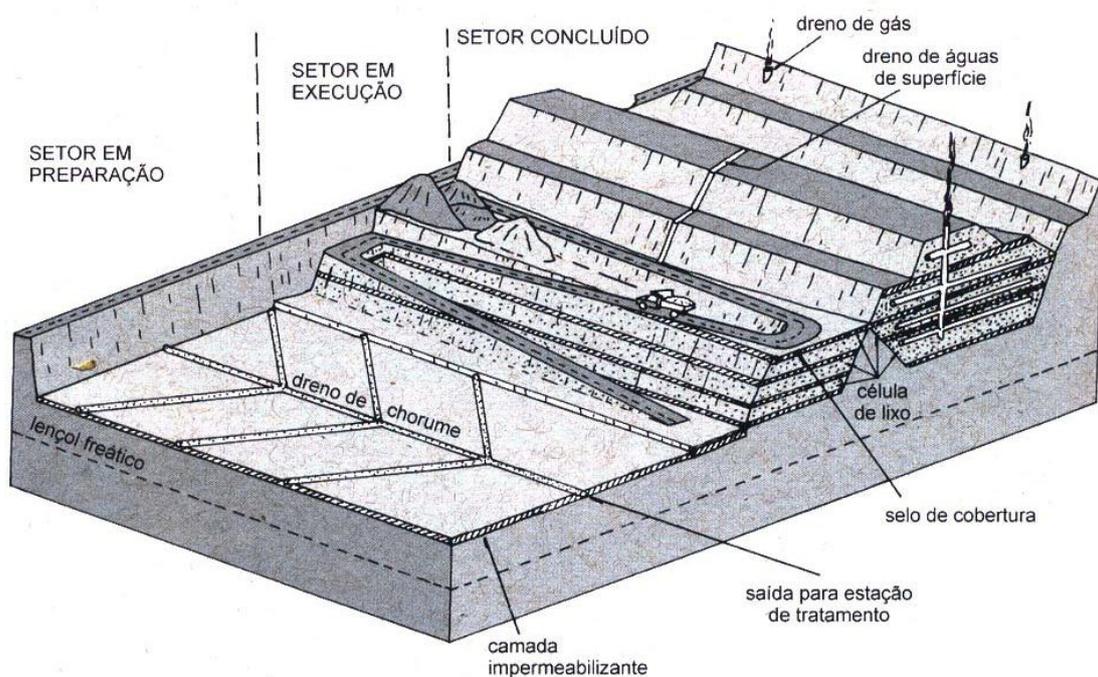
Fonte: Pesquisa (ABRELPE 2010; 2011)

Portanto, a instituição de aterros sanitários preconiza a mitigação dos impactos socioeconômicos e ambientais além dos resíduos não serem descartados *in natura* no meio

ambiente. Contudo, se faz necessário a integração do aterro para a melhoria dos fatores abióticos proporcionando um melhor tratamento aumentando a produção de metano a partir da melhor circulação de água, nutrientes e Biomassa.

As ABNTs (1989) e (1992), definem aterro sanitário como uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à segurança, mitigando os impactos no meio ambiente. A figura 4 demonstra o ciclo de um aterro.

Figura 4 – Modelo de aterro sanitário



Fonte: D' Almeida e Vilhena (2000), apud Ensinas (2003)

O aterro sanitário está enquadrado nos padrões de tratamento do lixo residual com coleta de percolados, coleta de biogás, drenagem das águas pluviais e monitoramento ambiental (solo e água).

Figura 5 - Destinação final de resíduos coletados, por município.



Fonte: REGATTIERI (2009)

De acordo com REGATTIERI (2009), a destinação total do lixo coletado no país 47,1% é depositada em aterros sanitários; 22,3% em aterros controlados; e 30,5% em lixões. Ainda segundo o autor, em relação aos municípios, 63,1% utilizam lixões e 32,2% aterros adequados (13,7 sanitários e 18,3 controlados) e 5% não ofereceu destino. A região nordeste é a que apresenta o maior índice de lixão a céu aberto.

2.4 Formação e geração de biogás em aterro sanitário

A composição físico-química e química do biogás depende do tipo de resíduo, teor de umidade, nutrientes, tipos de bactérias e nível de pH (MENDES; MAGALHÃES SOBRINHO, 2005), dentre outros.

Portanto, a Biomassa é toda matéria viva presente em um determinado lugar, fossilizado e de origem biológica, determinada de energia renovável sendo do tipo endógeno.

A produção de biogás ocorre com a degradação da matéria orgânica por bactérias por meio da digestão anaeróbica, processo esse em que as bactérias atuam na ausência de oxigênio na estrutura de materiais orgânicos complexos produzindo compostos como o metano, dióxido de carbono, dentre outros, resultando na extração de energia e outros compostos necessários para o seu crescimento.

Segundo Paris (2007), a formação do gás de aterro sanitário ocorre devido ao processo anaeróbio dos componentes orgânicos depositados no local. A esse gás, pode-se dar a denominação de biogás ou gás de lixo. O biogás é uma fonte renovável de energia, formada

por uma mistura de metano (CH_4) e de gás carbônico (CO_2), com concentrações de 65% e 35%, respectivamente (GUSMÃO, 2008; OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

A simples queima do gás metano, mesmo produzindo dióxido de carbono, é válida, pois o metano possui um impacto de efeito estufa cerca de 21 vezes maior do que o dióxido de carbono (RANZI; ANDRADE, 2004).

A qualidade do gás de aterro depende do sistema microbiológico, do substrato (resíduo) sendo decomposto e das variáveis específicas do aterro como acesso a oxigênio para o aterro e o teor de umidade (HAM; MORTON, 1999). Outros autores trabalham com uma descrição em que a quantidade de gás gerado pelo aterro constitui-se por um percentual de 50% de gás carbônico e cerca de 50% de metano e 1% de outros gases, dentre eles, sulfeto de hidrogênio (H_2S).

Um aterro de resíduos sólidos pode ser considerado como um reator biológico, onde as principais entradas são os resíduos e a água, e as principais saídas são os gases e o chorume (BRASIL, 2012).

Uma das maiores fontes de emissões de metano são os aterros usados para a disposição de resíduos sólidos urbanos (R.S.U.). O gás de aterro é produzido pela decomposição anaeróbia de resíduos orgânicos (SILVA; CAMPOS, 2008).

Os aterros sanitários são considerados atualmente uma das alternativas mais interessantes para geração do biogás, visto que podem dispor de técnicas de captação dos gases liberados, através de dutos de captação e queima posterior em *flares*, onde o metano será transformado em gás carbônico (FIGUEIREDO, 2007).

A utilização do biogás como combustível para o acionamento de equipamentos estacionários é uma forma prática, simples, econômica e se aproveitar a energia alternativa (SOUZA; SILVA; BASTOS, 2010), proveniente de biomassa residual.

2.5 modelos empíricos para estimativa de biogás

A aplicação de modelos matemáticos são ferramentas imprescindíveis para obtermos dados para avaliar potencialmente a geração de biogás em um aterro sanitário. Os resultados do modelo podem ser usados para avaliar o potencial para migração e emissões perigosas, e para avaliar a viabilidade do projeto de gestão do biogás. (BANCO MUNDIAL, 2004).

Atualmente, vários modelos estão disponíveis para cálculo de produção de biogás. Contudo, a produção total de gás pode variar conforme o modelo adotado, os parâmetros de

insumo e o resíduo que é passível de decomposição são comuns a todos os modelos. Outros parâmetros (condições climáticas locais, concentração de nutrientes no solo e composição do resíduo) podem variar conforme o modelo usado que irão diretamente influenciar a geração de gás no aterro e informações inconsistentes do local. Fatores importantes são levados em conta para o cálculo da geração do metano, como a população da região, a quantidade de lixo produzida por habitante e o tempo de vida do aterro, sendo esses apenas alguns dos fatores relevantes no cálculo (SILVA, 2012). Existem metodologias para se estimar, teoricamente, a geração de gás metano em locais de deposição de resíduos sólidos urbanos (RSU) na literatura.

Contudo, para a consolidação dos dados estimados se faz necessário considerar algumas variáveis, inclusive, na disponibilidade de dados. Atualmente os modelos mais utilizados são: o modelo do Banco Mundial, que foi o primeiro a ser criado, o LANDGEM e o modelo do IPCC.

2.5.1 Equação de inventário desenvolvida pelo IPCC (1996)

Apresentado em 1996 pelo Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas (IPCC), a metodologia estima a emissão de gás metano em aterros sanitários em países e regiões a partir dos resíduos disponíveis. Para o cálculo, utilizam-se dados estatísticos da população e a caracterização dos resíduos sólidos urbanos, estimado a partir da degradação orgânica do carbono acessível para decomposição bioquímica.

De acordo com Brito (2006), esse método envolve a estimativa da quantidade de carbono orgânico degradável que está presente no resíduo, assim, a quantidade de metano que pode ser gerada por determinada quantidade de resíduo é calculada.

2.5.2 modelo Banco Mundial

O método do Banco Mundial se apresenta como um modelo de primeira ordem, com base na hipótese de que há uma fração constante de material biodegradável no aterro por tempo decorrido. Este modelo é o mais comumente empregado e aceito nas Américas do Sul e do Norte e pode ser representado pela equação 1 (SILVA, 2012):

$$Q_{CH_4} = k \cdot L_o \cdot m_i \cdot e^{-k T} \quad (1)$$

Onde:

$Q_{(CH_4)_i}$ = Metano produzido no ano i a partir da seção i do resíduo (m^3 /ano);

k = Taxa de geração de metano (ano^{-1});

L_o = Potencial da geração de metano ($m^3_{CH_4}$ /tonelada de resíduos);

m_i = Massa de resíduo despejada no ano i (tonelada/ano);

t = Anos após o fechamento do aterro.

2.5.3 Modelo LandGEM

O LandGEM foi desenvolvido pelo Centro de Controle de Tecnologia da agência de proteção ambiental nos Estados Unidos no ano de 2005, e integra o rol de modelos de emissão de gases em aterros sanitários. Por meio desse método, pode-se calcular o total de gases gerados e suas variações, além de identificar a emissão de vários outros componentes presentes nos aterros.

O LandGEM também utiliza uma equação (2) de primeira ordem para estimar as emissões desses componentes em um período específico (AGENCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS, 2015):

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 KL_o \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-KTij} \quad (2)$$

Para a determinação da potência e energia, utilizaram-se as seguintes equações:

$$P = \frac{Q \cdot PCI \cdot n}{860.000} \quad (3)$$

$$E = P \cdot \text{Rend} \cdot \text{Tempo de operação} \quad (4)$$

Onde:

P = Potência Disponível (MW);

Q = Geração Anual de Metano por ano calculado ($\text{m}^3_{\text{CH}_4}/\text{ano}$);

PCI = Poder Calorífico Inferior do metano ($\text{kcal}/\text{m}^3_{\text{CH}_4}$);

η = Eficiência dos motores (em média, 0,28);

860.000 = Conversão de kcal/h para MW;

E = energia disponível (MWh/dia);

Rend = Rendimento de motores operando a plena carga (estimado em 0,87);

Tempo de operação = Tempo de operação dos motores.

3 MATERIAL E MÉTODO

O estudo foi desenvolvido considerando o aterro sanitário da Bacia Leiteira e Sertão que está em processo de conclusão. De acordo com o IBGE/2010, os municípios participantes do consórcio possuem uma população de 249.704 habitantes, situada na Bacia Leiteira e o Sertão Alagoano com a participação de 16 municípios, inicialmente, dos quais são responsáveis pelos serviços de coleta, transporte e disposição final dos resíduos sólidos que equivale a 70,64t/dia.

Situado no município de Olho D'água das Flores, o aterro foi construído no sítio Areia Branca a cerca de 8 km da cidade em uma área de 30 ha. Segundo o IBGE, Por estar localizado no sertão, apresenta uma precipitação anual média de 564 mm/a e temperatura média anual de 24.9°C.

Dentre os métodos apresentados, o modelo desenvolvido pelo IPCC terá uma maior aplicabilidade para estimar projeções de emissão de gases em diversos cenários a partir da especificidade de cada resíduo proveniente da biomassa residual abordada no presente trabalho.

A figura 6 mostra a área de instalação do aterro que se encontra com todo projeto executado restando apenas à resolução do aparato burocrático para que possa entrar em operação.

Figura 6 – Foto de satélite do aterro sanitário de Olho D'água das Flores



Fonte: Google Earth (2016)

3.1 Aplicação do método do IPCC

A proposta metodológica foi aplicada ao aterro sanitário da Bacia Leiteira e Sertão de Alagoas devido à necessidade do tratamento dos resíduos despejados e o aproveitamento dos gases eminentes presentes. Os dados referentes à população foram cedidos pela CIGRES e para a composição gravimétrica foi utilizado à base de dados do IPCC, já que não há estudos que projetem a geração destes resíduos.

A proposta para estimar a produção de biogás foi utilizar a ferramenta desenvolvida pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (2006), na qual, é um modelo que projeta, teoricamente, o volume de metano a ser gerado por um período considerado de tempo. A equação utilizada pelo método é a seguinte:

$$E_{CH_4} = K \cdot Rx \cdot L_0 \cdot e^{-k(X-T)} \quad (5)$$

Em que:

E_{CH_4} = Emissão de Metano (KgCH₄/ano);

k = Constante de decaimento;

Rx = Fluxo de resíduos do ano (tonRSD);

L_0 = Potencial de geração de metano ($m^3_{\text{biogás}} / \text{tonRSD}$);

X = Ano atual;

T = Ano de deposição do resíduo no aterro (início de operação).

Um dos dados mais importantes utilizado pelo IPCC e inclusive em metodologias que utilizam softwares para estimar geração de metano em aterros é a potência (L_0).

Ele é calculado com a fórmula a seguir:

$$L_0 = FCM \cdot COD \cdot COD_f \cdot F \cdot \frac{16}{12} \quad (6)$$

Sendo:

L_0 - o potencial de geração de metano dos resíduos em toneladas de CH₄/tonelada de resíduo;

FCM - fator de correção de metano;

COD - carbono orgânico degradável, dado em tonelada de C/tonelada de resíduo;

COD_f - fração de COD dissociada;

F - fração do metano presente no biogás em volume;

(16/12) - fator de conversão do carbono em metano, dado em tonelada de CH₄/tonelada de C.

Com base na qualidade da compactação dos resíduos no aterro sanitário, o fator de correção do metano (FCM) pode variar e influenciar na geração do metano. Vide tabela.

Tabela 1 - Valores para o FCM

Tipo de Local de disposição	FCM
Lixão	0,4
Aterro Controlado	0,8
Aterro Sanitário	1,0
Locais sem categoria	0,6

Fonte: (PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 1996)

A fração do metano representada por F varia bastante nos aterros. Segundo Persson et al. (2006), o percentual de metano em sua composição fica entre 35 e 65 %. Contudo, prevendo cenários mais conservadores, utilizamos uma fração de 40%.

Outra variável de extrema importância é a quantidade de carbono degradável presente nos resíduos (COD), que leva em conta a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos e a quantidade de carbono presente em cada componente do lixo, o que pode ter grandes variações de um local para outro.

A quantidade de carbono degradável presente nos resíduos (COD) é uma variável importante já que considera a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos (RSU) com a quantidade de carbono presente em cada parte dos resíduos que pode significativamente sobre variações de acordo com sua posição geográfica conforme a o potencial de geração de metano (Equação 6).

$$\text{COD} = (0,40 \cdot A) + (0,17 \cdot b) + (0,15 \cdot C) + (0,40 \cdot D) + (0,30 \cdot E) \quad (7)$$

Sendo:

A - fração de papel e papelão dos resíduos;

B - fração de detritos de parques e jardins dos resíduos;

- C - fração de restos de alimentos dos resíduos;
- D - fração de tecidos dos resíduos;
- E - fração de madeira dos resíduos.

Podendo ser resumida através da equação:

$$\text{COD} = \sum (\text{COD}_i \times W_i) \quad (8)$$

Segundo Birgemer & Crutzen (1987), a fração de COD dissociada (COD_f), indica a fração de carbono que é disponível para a decomposição bioquímica, e pode ser obtida pela equação a seguir:

$$\text{COD}_{f=0,014 \cdot T + 0,28} \quad (9)$$

Sendo:

COD_f: fração de COD dissociada [%];

T: temperatura na zona anaeróbia [°C]

Então, aplica-se a equação (10):

$$L_0 = \text{FCM} \cdot \text{COD} \cdot \text{COD}_f \cdot F \cdot \frac{16}{12} \quad (10)$$

O aterro sanitário da Bacia Leiteira e Sertão, mesmo não tendo entrado em operação no ano de 2015, não prejudica a estimativa de geração de metano devido à única influência ser o número de habitantes atendidos. A taxa anual de crescimento utilizada foi de 0,48%, pois é uma média das taxas de crescimento encontradas nos censos de 2000 e 2010.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estudos realizados por Santos (2011) serão tornados como base de análise para o cálculo do carbono degradável (COD). O valor de COD é obtido a partir da composição do material depositado no aterro conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição gravimétrica média dos resíduos sólidos/ Teor de CO degradável

Componentes	Total (%)	% COD (massa)
Papel/ Papelão	6,4	40
Matéria Orgânica	48,0	15
Resíduo de poda/ jardim	5,0	17
Pano/Trapo	1,0	40
Madeira	1,0	30

Fonte: Intergovernmental Panel on Climate Change (1996)

* excluindo a fração de lignina que se decompõe muito lentamente.

De acordo com a utilização da equação 7, o valor de COD foi de 0,1006 t de C/tonelada de resíduo. Segundo BIRGEMER E CRUTZEN (1987), fração do carbono degradável dissociada é a fração de carbono que é disponível para a decomposição bioquímica e varia em função da temperatura na zona anaeróbia do aterro sanitário. Como o aterro está na fase de conclusão, não sendo possível medir a temperatura na zona anaeróbica, está sendo considerada a temperatura de 35°C, onde o autor afirma que a disposição dos resíduos permanece nessa temperatura.

A partir da aplicação da equação 8 (Carbono Orgânico Degradável), o fator de COD_f foi de 0,77.

Entrando no mérito do L_0 , observações foram consideradas a partir do fator de correção do metano (FCM) que é classificado conforme o método de como os resíduos foi depositado, influenciando assim, a geração do gás. Variando entre 0,4 e 1,0 e levando em consideração que o aterro será manejado de forma correta, o FCM considerado para o cálculo foi 1 (um). O valor de F foi definido por Persson et.al, em 40%. A unidade do L_0 calculado a partir da Equação 6 (Potencial de geração de metano) será kg CH₄/kg RSD. Portanto, para que a unidade seja transformada para m³ biogás/tonRSD deve-se dividir o valor de L_0 obtido por 0,0007168 ton/m³ (densidade do metano) tendo obtido 57,63m³ CH₄ / t RSD.

Tendo como estimativa atender a uma população de 249.704mil habitantes e tendo como base que o aterro receberá resíduos durante os próximos 20 anos, ou seja, até 2036,

segundo a CIGRES, o cálculo também leva em consideração as projeções de 70.640 toneladas de matéria que será recebida pelo aterro. Portanto, considerando esses fatores a taxa de geração de resíduos usada no cálculo é de 0,28 kg/hab/dia. A população urbana que será atendida pelo consórcio, com relação à coleta, será de 100% e todos os dejetos serão destinados ao aterro sanitário.

Com base na Tabela 3.3 do Módulo 5, tem-se o valor de k para clima tropical – resíduo úmido (de acordo com a composição do lixo).

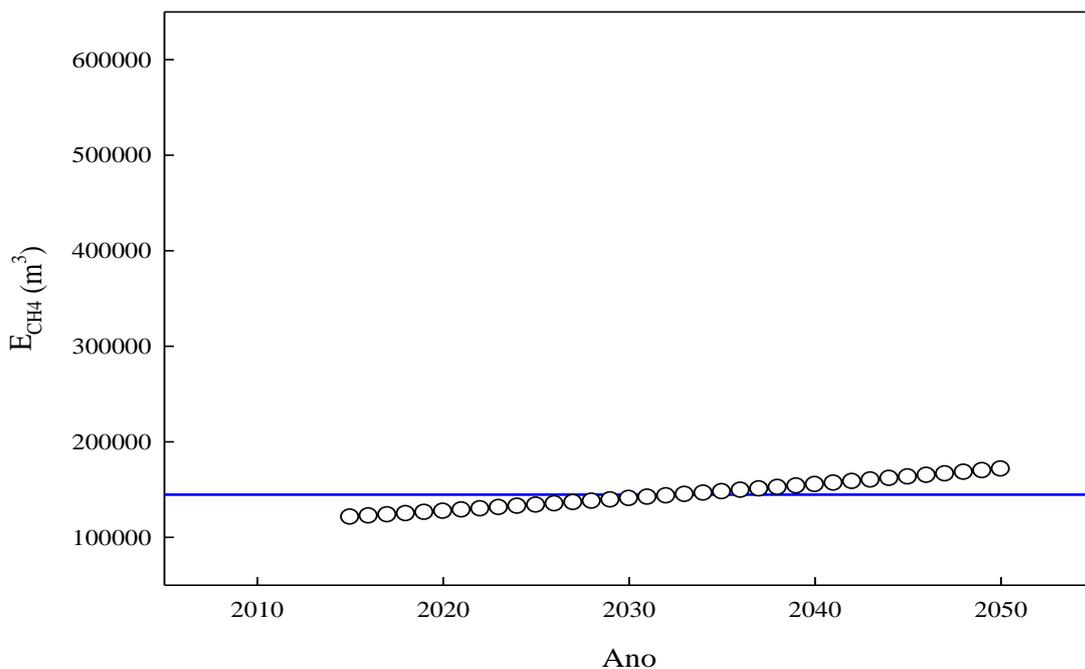
Tabela 3 - Resíduos, do Guia do IPCC

Papel	Orgânicos	Têxteis	Madeira	Média
$k = 0,07$	$k = 0,17$	$k = 0,07$	$k = 0,035$	$k = 0,09$

Fonte: Tabela 3.3 do Módulo 5 Volume 3: Disposição de Resíduos Sólidos, de 1996.

A partir dos dados coletados e preestabelecidos aplicados na equação (5), projetou-se cenários de geração de biogás a partir dos componentes presentes nos resíduos depositados no aterro sanitário.

Figura 7 – Estimativas de emissão de metano para os anos de 2015 até 2050 no aterro sanitário que será construído em Olho D'água das Flores.



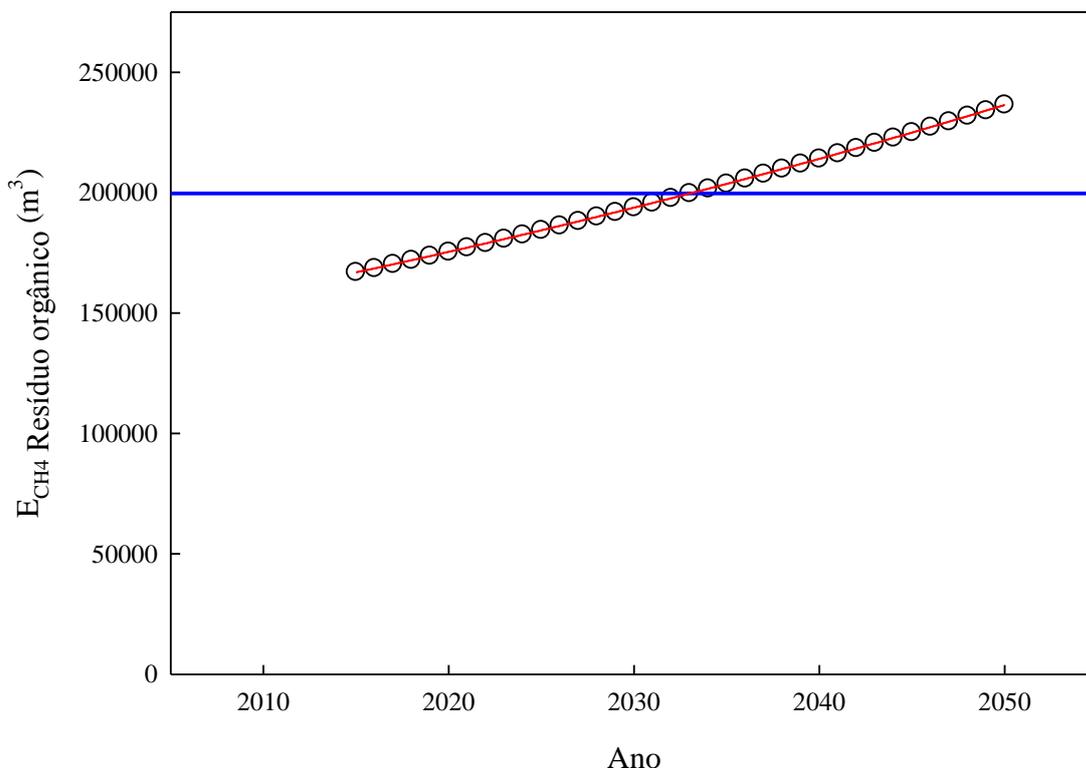
Fonte: Dados da pesquisa

O primeiro cenário apresenta uma estimativa equacionada a partir da inserção de todos os resíduos de entrada apresentados na tabela 3. Nesta perspectiva, observam-se uma ascendência linear apontando como resultado mínimo a geração de $120.970,9m^3CH_4$ em 2016, cerca de $13,80m^3CH_4/h$, chegando em 2036 a $149.083,61 m^3CH_4$ e em 2050 a seu ápice com $171.367,8m^3CH_4$.

Em sua totalidade, o aterro apresenta uma prospecção de gerar $5.211.050m^3CH_4$ entre o período apresentado, chegando a produzir em média $144.751,4 m^3CH_4/ano$ produzindo $16,52m^3CH_4/h$.

Outros panoramas foram considerados a partir da disposição de cada resíduo e sua constante de decaimento possibilitando ensaios de outros quadros. O primeiro efluente a ser visto isoladamente foi à matéria orgânica.

Figura 8 – Estimativas de emissão de metano a partir do resíduo orgânico para os anos de 2015 até 2050 no aterro sanitário que será construído em Olho D'água das Flores.



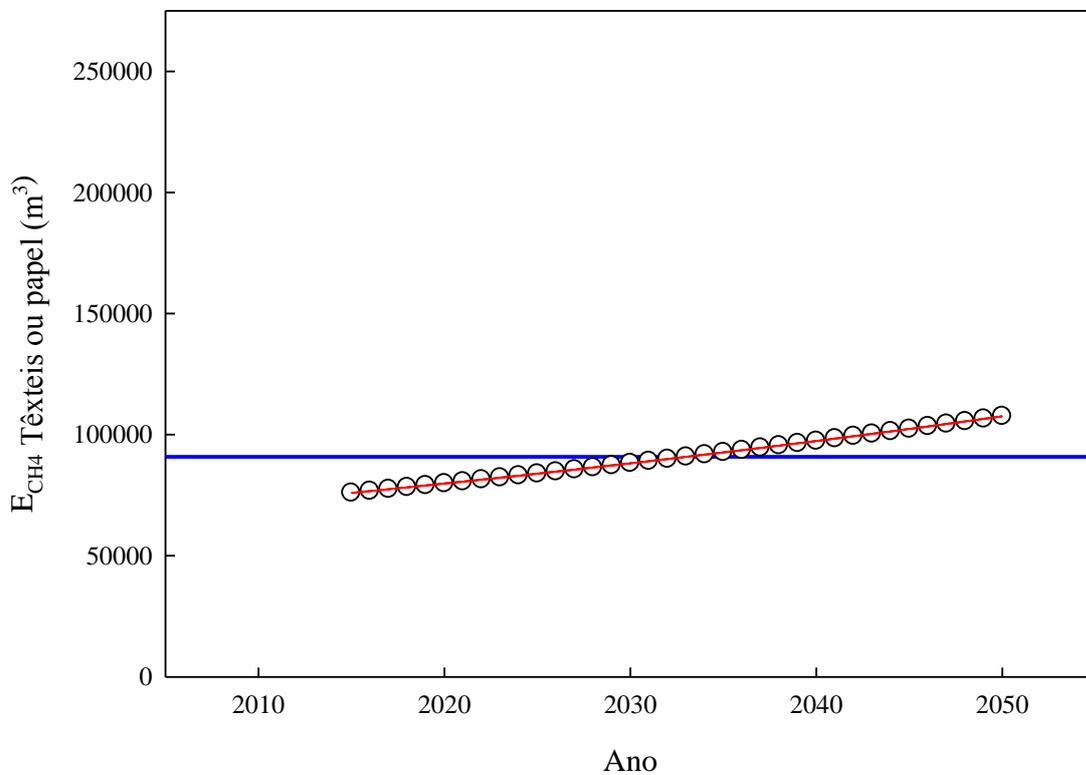
Fonte: Dados da pesquisa

Neste evento, a emissão em 2016 seria de $168.570,5m^3CH_4$ com uma produção média de $199.710,9m^3CH_4/ano$ chegando ao pico em 2050 com $236.433,0m^3CH_4$. Levando em

consideração apenas a matéria orgânica, ela chegaria a contribuir no período com cerca de $7.189.593m^3CH_4$.

Em outro momento foi utilizado o cálculo para o residual papel e têxtil já que apresentam a mesma constante de decaimento (k). Neste gráfico, podemos constatar os valores de lançamento de CH_4 .

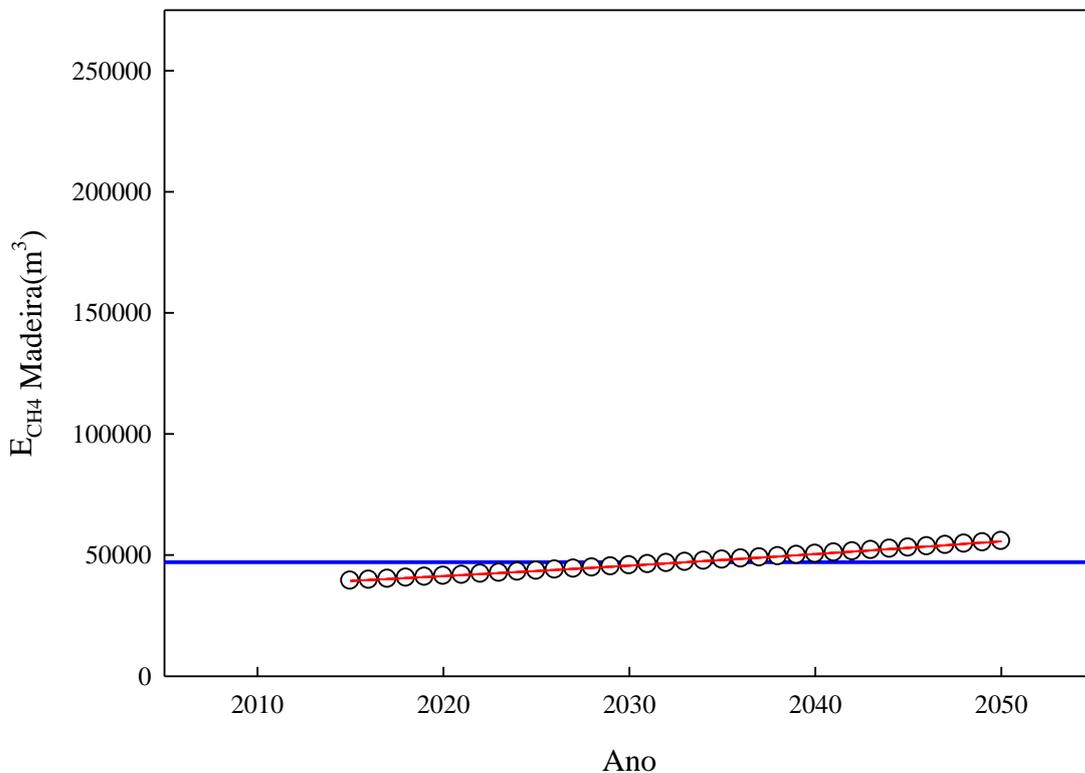
Figura 9 – Estimativas de emissão de metano a partir de resíduos têxteis e papel para os anos de 2015 até 2050 no aterro sanitário que será construído em Olho D'água das Flores.



Fonte: Dados da pesquisa

Neste plano, para esse ano a previsão de lançamento de CH_4 seria de 76.711,42 m^3CH_4 com uma propagação média de 90.882,53 m^3CH_4 /ano chegando a produzir 107.593,7 m^3CH_4 em 2050 em um total de 3.271.771 m^3CH_4 entre 2015 e 2050.

Figura 10 – Estimativas de emissão de metano a partir de resíduo de madeira para os anos de 2015 até 2050 no aterro sanitário que será construído em Olho D'água das Flores.



Fonte: Dados da pesquisa

O resíduo da madeira foi o que apresentou, dentre todos os resíduos, o menor resultado na geração de CH_4 . Neste panorama, $39.721,93 m^3 CH_4$ seria a quantidade de gás emitido pelo aterro no ano de 2016. Em média, seriam lançados na atmosfera $47.059,87 m^3 CH_4 /ano$ e até 2050 $1.694.155 m^3 CH_4$. Em 2050, atingiria $55.713,07 m^3 CH_4$.

Comparando dados presentes em trabalhos publicados sobre a estimativa de geração de biogás em aterro, observamos que o da capital do Tocantins que, segundo (Coelho; Alencar; Oliveira, 2011), apresenta as circunstâncias presentes de biomassa residual e levando em consideração, como por exemplo, a população (228.332 habitantes segundo o IBGE), é bem próxima a nossa realidade e apresentou em seu ápice a geração de $21,47 m^3 CH_4/h$ enquanto o aterro da Bacia Leiteira poderá proporcionar uma geração de $15,47 m^3 CH_4/h$.

Se a fração de metano presente no biogás for 50%, a quantidade de biogás será o dobro do valor de CH_4 , ou seja, será duas vezes a quantidade de metano obtida na Equação 5 (ICLEI, 2009, p. 64).

A tabela abaixo reproduz a quantidade de metano e biogás gerado em três períodos distintos.

Tabela 4 - Comportamento da geração de gás metano e biogás

m^3 / CH_4	Cálculo da geração de gás metano e biogás		
	2015	2035	2050
Metano	13,80	16,85	19,56
Biogás	27,60	33,70	39,12

Fonte: Dados da pesquisa

Com base nas equações de geração e potência de energia (equações 3 e 4), pudemos calcular o potencial de geração de energia por meio do Biogás apresentada na tabela a seguir:

Tabela 5 – Potencial de geração de energia

Ano	MWh/dia
2015	0,413
2035	0,504
2050	0,585

Fonte: Dados da pesquisa

A quantidade de resíduo é o principal parâmetro para estimar a geração de biogás. Para fomentar esse comportamento de geração de gás, se faz necessário atrelar a política dos aterros à instalação de cooperativas de reciclagem para que apenas a Biomassa chegue à destinação final. A geração de energia proveniente do biogás é um dos principais parâmetros que devem ser adotados para equacionar fatores que possam propiciar uma eficiência energética do aterro.

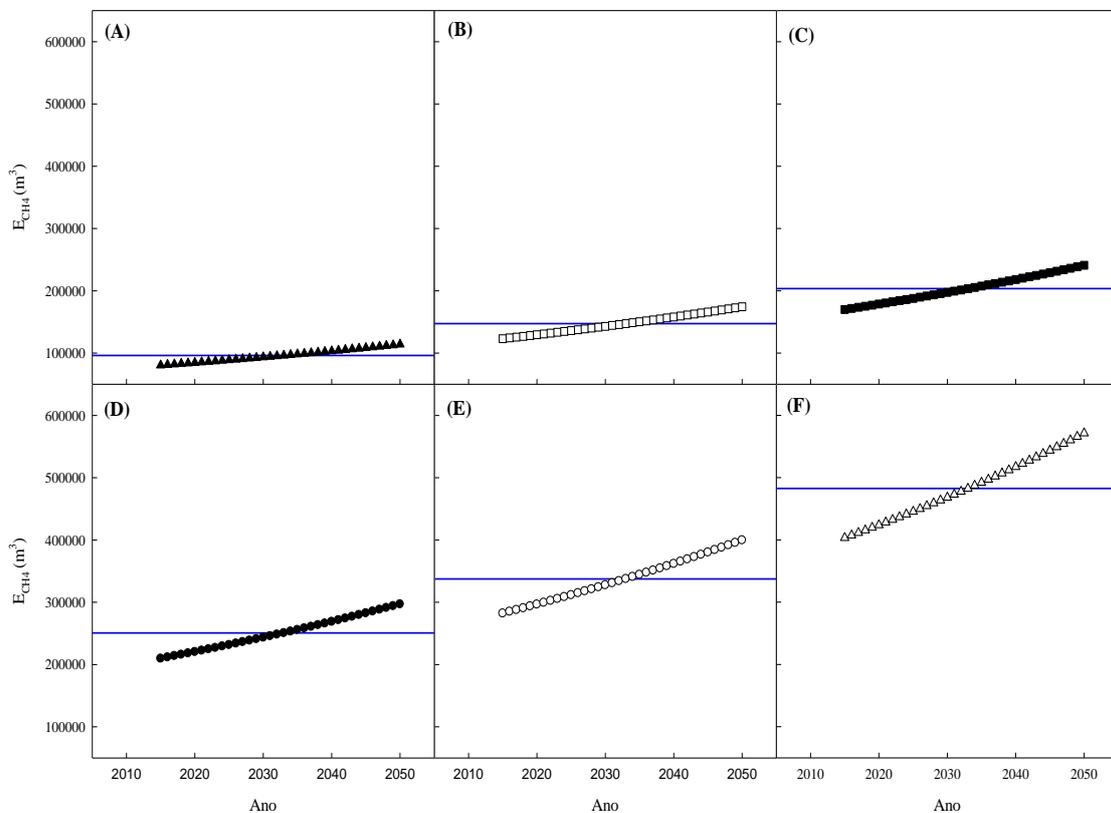
Diante da necessidade de investimentos para reversão da atual matriz energética e o cuidado com o tratamento dos resíduos provenientes da Biomassa, para minimizar os impactos no meio ambiente, são fundamentais enquanto política ambiental e de energia. A realização de pesquisas que fomentem projetos de aproveitamento de biogás e conversão dos rejeitos aliado a um gerenciamento de inorgânicos devem estar aliados na perspectiva de criar uma plataforma que equacione maiores impactos positivos, seja em patamares econômicos, sociais e/ou ambientais.

A captura do metano diminui as emissões dos gases do efeito estufa para a atmosfera, no entanto, as metodologias consolidadas indicam outros critérios complementares que devem ser considerados nas reduções de emissões.

Sendo o Estado de Alagoas dividido em sete regiões para a implantação dos consórcios, foi estimado o quantitativo de metano (CH_4) gerado nesses aterros para o comparativo de potencial desses aterros no tocante a emissão de metano no mesmo período de operação da Bacia Leiteira.

Na figura 11, está disponível o potencial de geração do metano sendo identificadas como: Sertão (A), Norte (B), Zona da mata (C), Metropolitana (D), Sul (E) e Agreste (F).

Figura 11- Estimativa de produção de metano ($CH_4/m^3/ano$) para os aterros sanitários nas regiões do sertão (A), Norte (B), Zona da mata (C), Metropolitana (D), Sul (E) e Agreste (F).



Fonte: Dados da pesquisa

Dentre as regiões estimadas, observamos as potencialidades de cada uma delas, isoladamente, projetando o potencia de energia gerada. O aterro localizado no agreste apresentou o maior desempenho, aliando o tratamento dos resíduos e a mitigação dos impactos ambientais.

Conforme a tabela 6, podemos obter o quantitativo de geração do metano total e médio nos aterros sanitários em Alagoas.

Tabela 6 – Projeções de (CH₄ /m³/ano) nas seis regiões do Estado de Alagoas (2015 – 2050)

REGIÃO	Total (CH₄ , m³ ano)	Média (CH₄ , m³ ano)
Sertão	3.464.312	96.230,89
Norte	530.484,6	147.356,8
Zona da Mata	7.325.405	203.483,5
Metropolitana	9.026.826	250.745,2
Sul	12.150.729	337.520,3
Agreste	17.374.801	482.633,4

Fonte: Dados da pesquisa

Tendo com base os dados referentes à produção de biogás, possibilitou projetarmos a geração de energia elétrica nos anos de 2015 e 2050, respectivamente, conforme a tabela a seguir:

Tabela 7 – Geração de energia nos aterros sanitários em Alagoas

REGIÃO	(MWh/dia)	(MWh/dia)
Sertão	0,274	0,389
Norte	0,420	0,595
Zona da Mata	0,580	0,822
Metropolitana	0,715	0,921
Sul	0,963	1,364
Agreste	1,377	1,951

Fonte: Dados da pesquisa

Nessa perspectiva, a região com o maior potencial para gerar CH₄ é o Agreste do Estado. Comparado com a região da bacia leiteira, o aterro do agreste terá três vezes mais potencialidade também de produzir energia elétrica.

Portanto, o presente trabalho enfocou a capacidade de geração de biogás e metano para o aterro sanitário da Bacia Leiteira e Sertão de Alagoas, gerando subsídios para realização das demais pesquisas para estimar a capacidade de geração de energia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A operação dos aterros sanitários em Alagoas, a partir da implantação dos consórcios intermunicipais, não irá apenas atender a legislação, mas, viabilizar uma saída a curto e médio prazo para resolver os problemas inerentes ao descarte dos resíduos. A mitigação dos impactos no meio ambiente a partir de deposição adequada dos resíduos e, a consequente minimização da emissão de gases é um fator primordial em um momento de intensas discussões sobre a necessidade de superar a matriz energética baseada, quase que exclusivamente, no petróleo.

Até 2021, todos os aterros sanitários devem estar em operação em Alagoas. É nessa perspectiva, que o trabalho tende a contribuir fortemente na discussão da necessidade de não só tratar o chorume e queimar o metano e sim, possibilitar a viabilização de instalação de pequenas centrais elétricas para atender a demanda energética dos aterros.

O modelo do IPCC apresentou uma aplicabilidade nesse método possibilitando projeções em que os aterros ainda não se apresentassem funcionando. Nesse contexto, aplicou-se a mesma metodologia para criarmos cenários futuros para as demais regiões.

Portanto, os aterros apresentam potenciais de geração de energia propiciando um melhor aproveitamento dos gases emitidos pelos resíduos. O aterro sanitário da Bacia Leiteira esboça para o interior do Estado uma referência no padrão do tratamento dos resíduos lançados in natura no ambiente, seja de origem rural ou urbano.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2011**. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/imagens_intranet/files/Panorama%20dos%20Res%3%ADduos%20S%C3%B3lidos%20no%20Brasil%202011.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR10703**: Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419**: Apresentação de Projetos de Aterros Controlados de Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro, 1992.

BANCO MUNDIAL. The World Bank handbook for the preparation of landfill gas to energy projects in Latin America and the Caribbean. Waterloo, 2004.

BARROS, R. M., **Tratado sobre resíduos sólidos**: gestão, uso e sustentabilidade. Rio de Janeiro: Interciência; Minas Gerais: Acta, 2012.

BIRGEMER, H.G.; CRUTZEN, P.J. The production of methane from solid wastes. **Journal of geophysical research**, Washington, v. 92, n. 2, p.2181-2187, 1987.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario>>. Acesso em: 23 mar. 2015.

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. **Aproveitamento energético do biogás de aterro sanitário**. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario>>. Acesso em: 17 nov. 2015.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional 2003**. Disponível em <<http://www.agg.ufba.br>>. Acesso em: 27 dez. 2004.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balço energético nacional 2004**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/site/menu>>. Acesso em: 20 jun. 2005.

BRITTO, M. L. C. P. S. **Taxa de Emissão de Biogás e Parâmetros de Biodegradação de Resíduos Sólidos Urbanos no Aterro Metropolitano Centro**. 2006. 185 f. Dissertação (Mestrado profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo)- Departamento de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA. **Projeto: Instalação e Testes de uma Unidade de Demonstração de Geração de Energia Elétrica a partir de Biogás de Tratamento de Esgoto -ENERG-BIOG: Relatório Técnico Final**. São Paulo, 2005.

CENTRO NACIONAL DE REFERENCIA EM BIOMASSA. **Projeto: Aproveitamento do Biogás Proveniente do Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos para Geração de Energia Elétrica e Iluminação a Gás:Relatório Técnico Final**. São Paulo, 2009.

COELHO, THAYSE CASTRO; ALENGAR, RENAN; **Estimativa de produção teórica do metano gerado no aterro sanitário de Palmas, TO**. 2011. Fórum ambiental de Alta Paulista. V. 7. N. 12.

CUNHA, M. E. G. **Análise do Setor Ambiental no Aproveitamento Energético de Resíduos: Um estudo de caso do município de Campinas**. 2002. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

ENSINAS, A. V. **Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas - SP**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

ESTADOS UNIDOS. Agência de Proteção Ambiental. **Modelo de Biogás Centro-americano**. Disponível em: <http://www.epa.gov/lmop/international/centro_americano.html>. Acesso em: 30 mar. 2015.

FIGUEIREDO, V. J. N. **Utilização do biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica e iluminação a gás: estudo de caso**. 2007. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2007.

GONÇALVES, Polita. PINHEIRO, Jorge. **Lixão x Aterro**. Disponível em <http://www.lixo.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=144&Itemid=251>. Acesso em: 05 out. 2010.

GRACINO, M. C. S. **Caracterização dos Aterros Sanitários de Araçatuba e Região e o Potencial do Aterro Sanitário da Cidade de Araçatuba para Produção de Biogás**. Faculdade de Tecnologia de Araçatuba. Araçatuba, 2010.

GUSMÃO, M. M. F. C. C. **Produção de biogás em diferentes sistemas de criação de suínos em Santa Catarina**. 2008. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

HAM, R. K.; MORTON A. B. **Measurement and Prediction of Landfill Gas Quality and Quantity in Sanitary Landfilling: process, technology and environmental impact**. New York: Academic Press, 1999.

IGNACIO, E. Fontes Alternativas de Energia. **Núcleo José Reis de divulgação científica**, São Paulo, a. 7, n. 39, 2007.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Módulo 6: Lixo: Guia para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa**. [S. l.], 1996. (2). Disponível em: <<http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.html>>. Acesso em: 14 set. 2015.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Inventories: Reference Manual**. [S. l.], 1996. (3). Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6>>. Acesso em: 20 jun. 2015

INTERNATIONAL COUNCIL FOR LOCAL ENVIRONMENTAL INITIATIVES. **Manual de aproveitamento de biogás**. São Paulo, 2009.

SÃO PAULO. Instituto de Pesquisa e Tecnológicas. **Resíduos sólidos**. Disponível em: <<http://www.ipt.br/publicacoes>>. Acesso em: 12 jan. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. **Indicadores Sociais: pesquisa nacional de saneamento básico**. Brasília, 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 13 jan. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?>>. Acesso em: 12 maio 2014.

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

LE MONDE DIPLOMATIQUE BRASIL. **Alternativas ao aquecimento global**. São Paulo: Instituto Paulo Freire, 2007.

MENDES, L. G. G.; MAGALHÃES SOBRINHO, P. Estimatemethodsofbiogasgeneration in sanitarylandfill. **Revista Ciências Exatas**, Taubaté, v. 11, n. 2, p. 71-76, 2005.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. **Geração e utilização de biogás em unidadesde produção de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006. (Documentos, 115).

PARIS, A. G. **Redução das emissões de gases de efeito estufa listados no protocolo de Quioto pelo aproveitamento do gás gerado em aterros sanitários utilizando células a combustível de óxido de sódio**. 2007. 144 f. Dissertação(Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto dePesquisa Energéticas Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

PERSSON, M.; JÖNSSON, O.; WELLINGER, A. **Biogas upgrading to vehicle fuel standards and grid injection**: IEA Bioenergy, Task 37: Energy from Biogas and Landfill Gas. Vienna: [s. n.], 2006.

RANZI, T. J. D.; ANDRADE, M. A. N. Estudo de viabilidade de transformação de esterqueiras e bioesterqueiras para dejetos de suínos em biodigestores rurais visando o aproveitamento do biofertilizante e do biogás. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA, 5., 2004, Campinas. **Anais...** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2004. 1 CD-ROM.

REGATTIERI, C.R. **Quantificação da emissão de biogás em aterro sanitário – estudo de caso do aterro sanitário de São Carlos**. 2009. 138 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SANTOS, G. G. D. dos. **Análise e Perspectivas de Alternativas de Destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos: O Caso da Incineração e da Disposição em Aterros**. 2011. 193 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SILVA, C. A. B. V. **Limpeza e Purificação de Biogás**. 2009. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Departamento de Engenharias, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal, 2009.

SILVA, E. P; CAVALIERO, C.K.N. Perspectivas para as fontes renováveis de energia no Brasil.**RevistaUniversia**, 2004.

SILVA, S. L. et al. Influências de um aterro sanitário, em termos descarga poluidora, nas águas subterrâneas. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 10., 2010, Fortaleza. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2010.

SILVA, T. N.; CAMPOS, L. M. de S. Avaliação da produção e qualidade do gás de aterro para energia no aterro sanitário dos Bandeirantes – SP. **Eng. Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.13, n.1, p. 88-96, 2008.

SILVA, T. R.**Metodologia para a determinação teórica da potência ótima conseguida a partir da combustão do biogás gerado em aterro sanitário**: Estudo de caso do aterro sanitário de Itajubá-MG. 2012. 161 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Energia)-Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.

SOUZA, R. G.; SILVA, F. M.; BASTOS, A. C. Desempenho de um conjunto motogerador adaptado a biogás.**Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 190-195, jan./fev. 2010.

TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Revista Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 249- 260, 2012.

VANZIN, E. **Procedimento para análise da viabilidade econômica do uso do biogás de aterros sanitários para geração de energia elétrica**: aplicação no Aterro Santa Tecla. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.

WILLUMSEN, H. C. **Energy Recovery From Landfill Gas in Denmark and Worldwide**. Vilborg:LGConsultant, 2001.

ZANETTE, A. L. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil**. 2009. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Estratégico) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.