



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA
AFRO-BRASILEIRA
INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS**

ELIANE DE JESUS DA COSTA DE CARVALHO

**ANÁLISE DO CENÁRIO ATUAL DE RSU DA REGIÃO DO MACIÇO DE
BATURITÉ E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL BIOQUÍMICO DE BIOGÁS DOS
RESÍDUOS ORGÂNICOS DA UNILAB**

ACARAPE – CE

2017

ELIANE DE JESUS DA COSTA DE CARVALHO

**ANÁLISE DO CENÁRIO ATUAL DE RSU DA REGIÃO DO MACIÇO DE
BATURITÉ E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL BIOQUÍMICO DE BIOGÁS DOS
RESÍDUOS ORGÂNICOS DA UNILAB**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Orientadora: Profa. Dra. Ada Amélia Sanders Lopes

Co-Orientador: Pesquisador Dr. Ari Clecius Alves de Lima

ACARAPE - CE

2017

ELIANE DE JESUS DA COSTA DE CARVALHO

**ANÁLISE DO CENÁRIO ATUAL DE RSU DA REGIÃO DO MACIÇO DE
BATURITÉ E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL BIOQUÍMICO DE BIOGÁS DOS
RESÍDUOS ORGÂNICOS DA UNILAB**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Coorientador: Pesquisador Dr. Ari Clecius Alves de Lima.

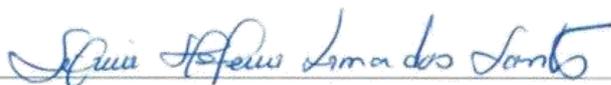
Aprovado em 21 / 12 / 2017.

BANCA EXAMINADORA



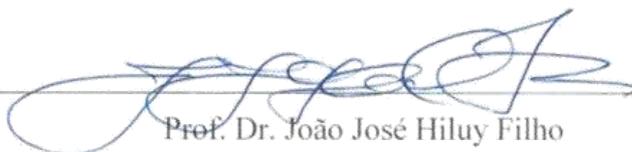
Profª. Dra. Ada Amélia Sanders Lopes (Orientadora)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Profª. Dra. Silvia Helena Lima dos Santos

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Prof. Dr. João José Hiluy Filho

Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus,
Aos meus Pais e
Aos meus Irmãos

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho primeiramente à Deus, por ser essencial em minha vida, autor dos meus passos, meu guia, socorro bem presente na hora da angústia.

Ao meu pai José Rui Freire de Carvalho, a minha mãe Suzana da Costa Moreira de Carvalho pela educação valiosa, por me ensinar muito mais do que poderia aprender ao longo de qualquer curso. Pelo amor, carinho, confiança e por sempre acreditarem nos meus sonhos, são a razão pela qual concretizo essa etapa.

Aos meus irmãos Vladimir de Carvalho, Suzainne de Carvalho por sempre me apoiarem e serem grandes exemplos de alunos dedicados e conquistadores de grandes vitórias acadêmicas. Em especial a minha irmã Hiliene de Carvalho por todo carinho, companheirismo e cumplicidade nessa jornada longe dos familiares. Aos meus conterrâneos que partimos juntos nessa marcha rumo a conquista de um diploma para um futuro melhor, em especial a Jandira Manuela e Rosimery dos Santos.

A todos os meus colegas de turma, em especial aos que tiveram mais presentes nos círculos de estudos das incontáveis noites em claro. Pela força, compartilhamento de conhecimentos, pelas risadas sinceras e motivantes. A Cinthia Bibiano e Micael Costa, aqueles que mais que colegas tornaram-se amigos especiais, irmão em fé, das quais guardarei no meu coração pelo resto da minha vida. Aos demais colegas Junior Duarte, Alison Mamede, Alan Robson e Elson Santos pelos grupos de estudos, trabalhos amigos e companheirismo. A Elisa Mangane pela amizade e força nos momentos difíceis.

A minha querida professora doutora orientadora Ada Amélia Sanders Lopes, pelo apoio, incentivo e presença constante durante quatro anos de trabalhos de extensão com muita dedicação e excelência. Além de tudo, agradeço pela amizade e carinho. A todos os professores do Curso de Engenharia de Energias da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), por me conduzirem em um mundo encantador. Ao Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável (IEDS), que por meio de sua gestão, ajudou a todos os estudantes do curso de Engenharia de Energia. E a UNILAB, a qual me deu a oportunidade para realização do Curso de graduação.

A Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTECH), nas pessoas do pesquisador doutor Ari Clecius, Patrícia Mendes, Eulália e Solange Girão pela oportunidade de realização da análise Laboratorial. A Labosan (Laboratório de Saneamento da UFC) nas pessoas de Geisa Vaconcelo e Pedrinho pelo apoio nas análises laboratoriais.

Confie naquele que escreve os teus dias,
Salmos 139

RESUMO

O descarte de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em locais inadequados tem sido um dos fatores de impacto socioambiental significativo em todo país. Ainda é comum no Brasil o despejo desses resíduos sólidos em lixões. O Maciço de Baturité localizado a aproximadamente 100 km de Fortaleza – CE, foco deste estudo, ainda utiliza essa forma de descarte dos seus resíduos. Deste modo almejando contribuir para o desenvolvimento sustentável local, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver matriz de indicadores ambiental, elaborada para permitir a análise da destinação final dos resíduos desta região, e uma análise laboratorial para avaliar o potencial bioquímico de metano da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos (FORS) da Unilab-CE. Os levantamentos de dados foram adquiridos junto às prefeituras de cada um dos municípios com intuito de avaliar o atual cenário da disposição final dos RSU, os fatores significativos das ações antrópicas e assim proporcionar, uma visão sustentável para região. A matriz elaborada consta de quatro dimensões de sustentabilidade: Políticas, tecnológicas, ambientais, conhecimento. E consta também com treze indicadores. De acordo com os resultados a situação da região estudada foi considerada em um estado crítico face às vertentes de sustentabilidade. A avaliação do potencial bioquímico foi realizada através da digestão anaeróbia com a mistura da FORS e lodo como inóculo. O estudo foi desenvolvido em cinco reatores batelada de 250 mL durante 22 dias. Dois reatores com relação Inoculo/Substrato de 0,5 (R_1 e R_2), mais dois com relação I/S 1:1 (R_1 e R_2) e por último o reator que foi instalado somente com inóculo $R_{(inóculo)}$. De acordo com os resultados obtidos pelos estudos realizados, dentre os reatores instalados a relação I/S:0,5 obteve maiores atividade microbiana durante 22 dias de inoculação. O volume máximo do biogás gerado foi de 300 Nml. Então podemos concluir que durante os 22 dias de biodigestão a que removeu mais carga orgânica foi reator com relação I/S:0,5 produzindo assim uma quantidade maior de biogás.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos, Biogás, Maciço de Baturité.

ABSTRACT

The disposal of Urban Solid Waste (USW) in inadequate places has been one of the factors of significant socioenvironmental impact in the whole country. It is still common in Brazil the disposal of these solid wastes in dumps. The Maciço of Baturité, located approximately 100 km from Fortaleza - EC, which is the focus of this study, still uses this form of waste disposal. In this way, aiming to contribute to local sustainable development, the present work was designed to develop a matrix of environmental indicators, intended to allow the final destination of waste in this region, and a laboratory analysis to evaluate the biochemical potential of methane from the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) of Unilab-CE. The data collection was obtained from the prefectures of each municipality in order to evaluate the current situation concerning the final disposal of the MSW, the significant factors of the anthropic actions, providing a sustainable vision for the region. The elaborate matrix consists of four dimensions of sustainability: Political, technological, environmental and knowledge. It also includes thirteen indicators. According to the results the situation of the region studied was considered in a critical state concerning sustainability. Evaluation of the biochemical potential was performed through anaerobic digestion with the mixture of OFMSW and sludge as inoculum. The study was carried out in five 250 mL batch reactors during 22 days. Two reactors with Inoculum / Substrate ratio of 0.5 (R1 and R2), and two with I / S ratio of 1: 1 (R1 and R2) and finally the reactor that was installed only with inoculum R (inoculum). According to the results obtained by the studies carried out, among the reactors installed the I / S: 0.5 obtained greater microbial activity during 22 days of inoculation. The maximum volume of biogas generated was 300 Nml. Thus, we can conclude that during the 22 days of biodigestion the reactor with I / S ratio: 0.5 removed more organic load, producing a larger amount of biogas.

Key words: Urban Solid Waste, Biogas, Baturité Massif.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma explicativo da Política Nacional de Resíduos Sólidos.....	07
Figura 2: Localização das unidades conforme situação.....	17
Figura 3: Fluxograma do processo anaeróbio.....	19
Figura 4: Localização geográfica do Maciço de Baturité no Estado do Ceará.....	21
Figura 5: Coleta da amostra do logo.....	24
Figura 6: Coleta da matéria orgânica.....	25
Figura 7: Frasco de 250 mL utilizado nos testes de biodegradabilidade.....	25
Figura 8: Medidor de pressão.....	26
Figura 9: Foto do cromatógrafo utilizado.....	26
Figura 10: Remoção de CO ₂ dos reatores.....	28
Figura 11: Frascos incubados a 35°C, sob agitação de 150 rpm.....	29

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Geração de RSU no Brasil	06
Gráfico 2: Quantidade de RSU gerados na Região Nordeste.....	06
Gráfico 3: Disposição final de RSU no Brasil por tipo de destinação.....	09
Gráfico 4: Coleta de RSU no Brasil.....	09
Gráfico 5: Oferta de potência de geração elétrica – 2016 (%)......	16
Gráfico 6: Potencial de geração de biogás.....	40
Gráfico 7: Volume acumulado de metano.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estimativa da composição gravimétrica do RSU no Brasil em 2012.....	10
Tabela 2: Oferta interna de energia (OIE).....	15
Tabela 3: Quantidade de unidades e produção de biogás para energia no Brasil.....	17
Tabela 4: Composição típica de biogás.....	20
Tabela 5: Dados do Maciço de Baturité.....	21
Tabela 6 - Condições de análise do biogás no GC-TCD.....	27
Tabela 7: Metodologia adotada para caracterização dos resíduos.....	27
Tabela 8: Matriz de indicadores de RSU do Maciço de Baturité.....	31
Tabela 9: Localização Geográfica dos Lixões.....	33
Tabela 10: Georreferenciamento e as fotos dos lixões.....	34
Tabela 11: Georreferenciamento e as fotos dos lixões.....	34
Tabela 12: Georreferenciamento e as fotos dos lixões.....	35
Tabela 13: Aspectos Ambientais da Área de Destino Final dos RSU.....	36
Tabela 14: Condições dos Catadores nos Lixões	37
Tabela 15: Análise do Lodo (inóculo).....	38
Tabela 16: Análise da composição Inoculo/Substrato.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

AMAB – Associação dos Municípios do Maciço de Baturité;

APA – Área de Proteção Ambiental

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

CPLP – Comunidade dos pais de Língua Português

DEHA – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC

FORSU – Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos

GRSU – Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LABOSAN – Laboratório de Saneamento da UFC

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NBR – Norma Brasileira

NUTEC – Fundação Núcleo Tecnologia Industrial do Ceará.

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

UNILAB – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo Geral	3
2.2 Objetivo Específico:	3
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
3.1 Resíduos Sólidos Urbanos	4
3.1.1 Definição e Classificação	4
3.1.2 Geração	5
3.1.3 Políticas Brasileiras de Gestão de Resíduos Sólidos	6
3.1.4 Destinação	8
3.1.5 Características	10
3.1.6 Gerenciamento Integrado	12
3.2 Energia e Resíduos Sólidos Urbanos	14
3.2.1 Matriz Energética Brasileira	15
3.2.2 Tecnologias de Aproveitamento Energético dos RSU	18
3.3 Local de Estudo: Maciço de Baturité – Ceará	21
3.3.1 Localização Geográfica e Descrição dos Municípios	21
3.3.2 Localização Geográfica e Descrição da UNILAB	22
4. MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1 Aplicação de questionários aos gestores municipais de cada cidade	23
4.2 Pesquisas de campo aos locais dos descartes dos RSU	24
4.3 Análise Laboratorial: Teste de biodegradabilidade	24
4.3.1 Inóculo e matéria orgânica utilizada	24
4.3.2 Procedimento Experimental	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1 Matriz de indicadores	31
5.2 Forma de Tratamento e Disposição Final dos Resíduos	32
5.3 Análise Laboratorial: Teste Bioquímico de Metano	37
6. CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS	43

1. INTRODUÇÃO

A crescente produção dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é uma das questões que vem sendo discutida nas grandes conferências internacionais sobre RSU, com objetivo de trocar experiências, intercâmbios de informações e capacitações técnicas, de forma a minimizar os impactos de sua geração. O desenvolvimento industrial e aumento acelerado da população e urbanização vêm contribuindo de forma significativa no uso dos recursos naturais e, por conseguinte na geração dos RSU, que quando não descartados de forma adequados podem causar graves impactos ambientais.

O problema da disposição final dos RSU assume uma magnitude alarmante, tendo em conta apenas os resíduos urbanos e públicos, o que se percebe é uma ação generalizada das administrações públicas locais ao longo dos anos, em afastar das zonas urbanas o lixo coletado, depositando-o por vezes em locais absolutamente inadequados, como encostas florestadas, manguezais, rios, baías e vales, em cursos d'água ou em áreas ambientalmente protegidas (NETO, 2010).

De acordo com a ABRELPE, 2016, mesmo depois de 6 anos da aprovação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) em 02/08/2010, 17,4% dos municípios brasileiros descartam os seus RSU no lixão a céu aberto. A PNRS veio trazer conjunto de regulamentos para destinação final dos resíduos sólidos produzidos, principalmente os urbanos, agindo como um termo de guia que reúne princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes sob os quais a integração entre os gestores públicos em questão, principalmente os municipais, deverão seguir.

O Maciço de Baturité-CE alvo desta pesquisa é constituído por treze municípios das quais são: Acarape, Aracoiaba, Aratuba, Barreira, Baturité, Capistrano, Guaramiranga, Itapuína, Mulungu, Ocara, Palmácia, Pacoti e Redenção. Os municípios se localizam em média cerca de 100 Km, ao sul da Cidade de Fortaleza capital do Ceará. Ainda é uma das regiões do Brasil que descartam de forma inadequada os seus resíduos e não dispõem, até então, de um aterro sanitário em nenhum dos seus municípios. As disposições finais dos RSU são a céu aberto, localizados em média de 8 Km dos centros urbanos.

Tendo em vista o atual cenário destes municípios em relação ao descarte dos RSU, este trabalho teve proposito de contribuir para o desenvolvimento local com ênfase na questão ambiental e social apresentar o cenário atual dos RSU da Região do

Maciço de Baturité e avaliar o potencial de biogás aplicando resíduos da UNILAB, que apresenta alternativas energeticamente sustentáveis.

Neste trabalho foram desenvolvidas três metodologias para avaliação de RSU: A primeira metodologia foi baseada em aplicação de questionário aos gestores de cada município; a segunda foi a visita exploratória aos seus respectivos lixões e a terceira metodologia consiste na análise laboratorial onde realizou o teste bioquímico de metano da composição da FORS mais lodo. Os materiais de análise tanto a matéria orgânica como o inóculo (esgoto) foram coletados na universidade federal local (UNILAB).

A maioria dos lixões tem a presença de catadores, onde alguns deles são crianças, que denuncia os problemas sociais que a má gestão dos RSU acarreta. Tradicionalmente, o que ocorre no Brasil é de competência dos Município sobre a gestão dos resíduos sólidos produzidos em seu território, com exceção dos de natureza industriais, mas incluindo os provenientes dos serviços de saúde (GIMARÃES, 2013).

O horizonte das políticas públicas para o problema é a realização de ações que coordenem esforços entre os diferentes âmbitos da gestão municipal para: redução da geração de resíduos; a logística reversa; a valorização dos resíduos como uma possível fonte de emprego digno por conta da reciclagem; pelo correto tratamento dos materiais dispostos, evitando danos ao ambiente e principalmente à saúde; e finalmente pela sua aplicação na produção energética uma vez que a matriz energética nacional é maioritariamente da fonte hídrica.

De acordo com os resultados obtidos pela pesquisa realizada, os reatores apresentaram atividade microbiana satisfatórios durante 22 dias desde a inoculação. O volume máximo do biogás gerado foi de 300 Nml da relação I/S:0,5. Sendo que I/S: 1 apresentou uma estabilidade maior sem atingir volumes considerados de biogás.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Apresentar o panorama atual dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) da Região do Maciço de Baturité e avaliar o potencial de biogás aproveitando resíduos orgânicos da Unilab. E definir as alternativas energeticamente sustentável.

2.2 Objetivos Específicos:

- Avaliar o cenário da disposição final dos RSU da Região do Maciço de Baturité;
- Analisar as formas de condicionar, armazenar, tratar e disposição final, apresentando alternativas ambientais e energéticas sustentáveis;
- Georreferenciar os Lixões do Maciço de Baturité;
- Realizar a quantificação do potencial da geração do biogás no tratamento anaeróbio dos resíduos orgânico do Restaurante da UNILAB.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Resíduos Sólidos Urbanos

3.1.1 Definição e Classificação

Resíduos sólidos urbanos são definidos e classificados segundo NBR 10004 de 2004 como:

“Resíduos nos estados sólido e semi-sólido que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível”.

Entende-se também por resíduos sólidos urbanos segundo os termos da Lei Federal nº 12.305/10 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os resíduos domiciliares, isto é, aqueles originários de atividades domésticas em residências urbanas e os resíduos de limpeza urbana, quais sejam, os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, bem como de outros serviços de limpeza urbana (ABRELPE, 2012).

Ainda de acordo com NBR-10.004/2004, os resíduos sólidos são classificados em função da periculosidade como:

Resíduo Classe I – Perigosos: apresentam risco à saúde pública e/ou ao meio ambiente, caracterizando-se por possuir uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Resíduo Classe II – Não Perigosos; - Resíduo Classe IIA – Não Inertes: são todos os resíduos não enquadrados na classe I - Perigosos ou classe IIB - Inertes e que podem apresentar propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água; - Resíduo Classe IIB – Inertes: são todos os resíduos que submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados, de acordo com padrões desta norma.

De acordo com o Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, Resolução no 005/93, os resíduos sólidos podem ser classificados nos quatro grupos seguintes:

- I. **Grupo A:** resíduos que apresentam risco potencial à saúde pública e ao meio ambiente devido à presença de agentes biológicos. Esse grupo é composto, principalmente, pelos resíduos de serviços de saúde;
- II. **Grupo B:** resíduos que apresentam risco potencial à saúde pública e ao meio ambiente proveniente das características químicas. Como exemplos desse grupo são encontrados os resíduos farmacêuticos, as drogas quimioterápicas e, os demais produtos perigosos, classificados pela NBR 10.004 (ABNT, 2004);
- III. **Grupo C:** resíduos radioativos - deverão obedecer às exigências definidas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN;
- IV. **Grupo D:** resíduos comuns, que não se enquadram nos grupos supracitados.

(Campos, 2012), (Feeburg, 2007) e (Ferraz, 2013) classificam os resíduos quanto à origem ou fonte geradora, podendo ser: domiciliar, comercial, industrial, de serviços de saúde, portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários, agrícola, construção civil e limpeza pública. Dentro desta classificação está inserido o tipo de resíduo que alguns autores designam como Resíduo Sólido Urbano (RSU). Por exemplo, (Ribeiro e Lima, 2000) apresentam o conceito como material heterogêneo constituído basicamente por resíduos domésticos, comerciais, industriais, de atividade pública e de serviços de saúde.

3.1.2 Geração

Os primeiros registros de despejos de RSU teriam ocorrido em Atenas, (Grécia antiga) 400 anos a.C (SANTAELLA, 2014). O desenvolvimento industrial, o aumento acelerado da população e urbanização contribuíram de forma significativa no uso dos recursos naturais na produção em massa de bens de consumo e principalmente na forma de descartáveis, que tem grande repercussão em termos quantitativos na geração dos RSU.

È difícil definir um conceito único para RSU, pois a sua composição varia em função das características de cada cidade, ou seja, em função da sua fonte geradora.

Segundo Abrelpe, (2016), entre 2015 e 2016 a população do Brasil apresentou um crescimento de 0,8%, enquanto a geração *per capita* de RSU mostrou uma queda de quase 3% nesse mesmo período. No total, a geração de resíduos sofreu queda de 2% e chegou a 214.405 t/dia de RSU como apresentado no Gráfico 1.

Gráfico 1: Geração de RSU no Brasil



Fonte: ABRELPE, 2016

Desse total, a região Nordeste contribuiu com cerca de 15.444 toneladas por dia de RSU no mesmo ano, que corresponde a 7,2 % como mostra o Gráfico 2 que representa a quantidade de RSU gerados na Região Nordeste.

Gráfico 2: Quantidade de RSU gerados na Região Nordeste



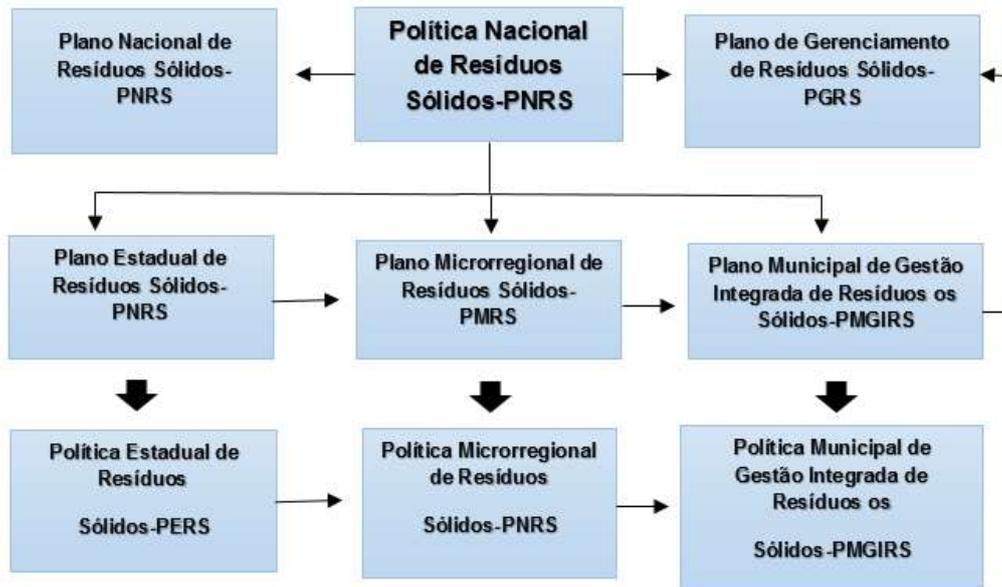
Fonte: ABRELPE, 2016

De acordo com o Gráfico 2 pode se observar a redução de 1,9% na geração total diária de RSU e uma redução de 3,4% de geração per capita.

3.1.3 Políticas Brasileiras de Gestão de Resíduos Sólidos

As políticas para gestão de RSU, no Brasil são instituídas pela Política Nacional de Resíduos, sólidos (PNRS) através da Lei 12.305 de 2010 que alterou a Lei nº 9.605 de 1998, como mostra o fluxograma da Figura 3.1 abaixo.

Figura 1: Fluxograma explicativo da Política Nacional de Resíduos Sólidos



Fonte: Autora - Adaptado de Portal dos Resíduos Sólidos

O PNRS, objetiva estabelecer princípios, objetivos, e instrumentos, bem como as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. Essa lei não se aplica a resíduos radioativos, pois são regulados por legislação específica.

De acordo com o fluxograma da Figura 1, observa-se que a PNRS tem cinco planos que são seus instrumentos: plano nacional, plano estadual, plano microrregional, plano municipal de gestão integrada e plano de gerenciamento que se aplica a empresas públicas ou privada.

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos faz o primeiro diagnóstico da situação do Brasil servindo de base para a elaboração de todos os planos. Já o plano estadual faz diagnóstico de todo estado e cria algumas regulamentações. Os planos microrregionais fazem os diagnósticos mais aprofundado e precisam obedecer às recomendações da política nacional e estadual de resíduos sólidos. O plano municipal precisa fazer os seus diagnósticos em termos municipais e obedecer às recomendações da política estadual e nacional. O Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos definido pelo Plano Municipal de Resíduos Sólidos ou Plano Microrregional de Resíduos Sólidos.

3.1.4 Destinação

Quando se refere à disposição final dos RSU, três tipos são mencionados: lixão, aterro controlado e aterro sanitário.

- **Lixões ou Vazadouros a céu aberto:** são depositários de RSU, desprovido de algum tipo de tratamento, são “institucionalizados”, isto é, autorizados pelas Prefeituras Municipais (LEITE, 2005). Estas formas de descarte causam poluição do solo, da água e do ar, tendo em conta que são a céu aberto e sofrem queimadas constantes. Os lixões trazem ainda um problema social: atrai a população mais vulnerável e sem emprego, que passa a se alimentar dos restos encontrados no lixo e a sobreviver dos materiais que podem ser vendidos.
- **Aterro Controlado:** O aterro controlado é uma forma de disposição final de resíduos sólidos no solo, na qual precauções tecnológicas executivas adotadas durante o desenvolvimento do aterro, como o recobrimento dos resíduos com argila (na maioria das vezes sem compactação), aumenta a segurança do local, minimizando os riscos de impactos ao meio ambiente e à saúde pública. Embora seja uma técnica preferível ao lançamento a céu aberto, não substitui o aterro sanitário (MIRANDA,2014).
- **Aterro Sanitário:** O aterro sanitário é uma técnica de aterramento dos RSU, que constitui basicamente na compactação dos resíduos no solo em forma de camadas, periodicamente cobertas com terra ou outro material inerte, fornecendo condições favoráveis para degradação natural e prolongada, por meio biológicos, até a mineralização da matéria biodegradável. Ele apresenta as principais características técnicas: impermeabilização da base do aterro, sistema de drenos que permite a saída do biogás; sistema de coleta de chorume; sistema de drenagem de águas pluviais (PEREIRA, *et all*, 2005).

A nível nacional, as maneiras de disposição final frequentemente adotadas são aquelas em que os resíduos são aterrados sem qualquer tratamento básico, isto é, em lixões.

Os índices de disposição final de RSU apresentaram retrocesso no encaminhamento ambientalmente adequado dos RSU coletados, passando a 58,4% do

montante anual disposto em aterros sanitários. As unidades inadequadas como lixões e aterros controlados ainda estão presentes em todas as regiões do país e receberam mais de 81 mil toneladas de resíduos por dia, com elevado potencial de poluição ambiental e impactos negativos na saúde.

Gráfico 3: Disposição Final de RSU no Brasil por tipo de destinação (T/Dia)



Fonte: ABRELPE, 2016

De acordo com ABRELPE, 2016, os resíduos coletados em termos nacionais apresentaram indicadores negativos de acordo com a queda na geração de RSU, na comparação ao ano anterior tanto no total quanto no per capita conforme o Gráfico 4. A Região Sudeste apresenta cerca de 52,7% do total. O maior percentual de cobertura dos serviços de coleta do país.

Gráfico 4: Coleta de RSU no Brasil



Fonte: ABRELPE, 2016

De acordo com o Gráfico 1 foram gerados 214,405 (t/dia) de RSU em 2016 e pelo Gráfico 4 foram coletados 43.355 (t/dia) de RSU no mesmo ano o que significa que 17.050 (t/dia) não foram coletados.

3.1.5 Características

- Propriedades Físicas

A ciência das características físicas está relacionada ao dimensionamento e escolha de métodos de tratamento e disposição final, de uma forma ambientalmente sustentável e economicamente viável. As características físicas mais importantes dos RSU são geração per capita, composição gravimétrica, peso específico aparente, teor de umidade e compressividade (PERREIRA, 2011).

A geração *per capita* representa a quantidade em massa diária de RSU gerado dividido pelo número de habitantes de determinado local, tendo como base os dados populacionais, sendo expresso em $\text{kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$. Este parâmetro é importante, pois funciona como orientação para o planejamento de instalações e equipamentos que farão parte componente do serviço de coleta e transporte de resíduos (PERREIRA, 2011).

A composição gravimétrica representa o percentual de cada componente de RSU em relação ao peso total da amostra avaliada permitindo assim identificar a quantidade e a qualidade dos resíduos gerados pelo determinado local. Os componentes dos RSU estão, geralmente, distribuídos em matéria orgânica, papel, papelão, trapos, plástico, metais, vidro, borracha, madeira e outros (FEARRI,2016). Este tipo de caracterização é importante, pois pode ser um indicativo para o aproveitamento das frações recicláveis para comercialização e da matéria orgânica para a produção de composteira e biogás. A Tabela 1 apresenta a composição gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos, considerando como base a quantidade coletada no ano de 2012.

Tabela 1: Estimativa da composição gravimétrica do RSU no Brasil em 2012

Material	Participação (%)	Quantidade (t/dia)
Metais	2,9	1.640.294
Papel, papelão e Tetra Park	13,1	7.409.603
Plástico	13,5	7.635.851
Vidro	2,4	1.357.484
Matéria Orgânica Putrescível	51,4	29.072.794

Outros	16,7	9.445.830
TOTAL	100	56.561.856

Fonte: VILELA, 2015 *apud* ABRELPE,2012

Observa-se que a matéria orgânica gerada nas residências é o material de maior produção no país e representa 51,4% da massa de resíduos coletada e disposta em aterros sanitários, aterros controlados e lixões. No entanto, apesar de ser um material com alternativas de tratamento, apenas 3% são aproveitados em processos de compostagem (CEMPRE, 2010).

Os RSU que apresentam maiores teores de umidade são basicamente provenientes dos materiais orgânicos (resíduos alimentares, de jardim e poda). Os componentes inorgânicos, tais como, metais e vidros, geralmente têm um teor de umidade abaixo de 10%. O teor de umidade tem influência direta sobre a velocidade de decomposição da matéria orgânica no processo de compostagem, e na produção de biogás (SOARES,2011).

Segundo Soares, 2011 *apud* Coumoulos et al.1995 as temperaturas dos resíduos sólidos urbanos também são importantes parâmetro na caracterização física, eles variam entre 40 a 60°C e essas não foram afetadas pelas variações sazonais da temperatura ambiente. A temperatura interna da massa de RSU é de extrema importância principalmente no que se refere à atividade de microrganismos responsáveis a degradação dos diversos componentes do RSU (CUNHA,2009).

- Propriedades Químicas

Segundo Cavalcante (2013) as características químicas estão divididas em:

- ✓ Poder calorífico: Pode ser conhecida quando um determinado material submetido a queima a altas temperaturas desprende determinada quantidade de calor. O poder calorífico médio dos resíduos domiciliares situa-se na faixa de 5000 kcal/ Kg.
- ✓ Potencial hidrogeniônico (pH): Aponta o teor de acidez ou alcalinidade dos resíduos. Em geral, situa-se na faixa de 5 a 7.

- ✓ Composição química: Determina os teores, em percentual de matéria orgânica, cinzas, carbono, nitrogênio, potássio, cálcio, fósforos, resíduos minerais totais, resíduo mineral solúvel e gorduras.
- ✓ Relação carbono/ nitrogênio (C/N): Essa relação mostra o grau de degradação da matéria orgânica nos processos de tratamento / disposição final. Em geral, essa relação encontra-se na ordem de 35/1 a 20/1.

- Propriedades Biológicas

A propriedades biológicas são apuradas pelas populações microbianas presentes nos resíduos, do mesmo modo como os agentes patogênicos, ajudando essa assimilação, no tratamento para inibir odores no RSU e aceleradores na decomposição orgânica.

3.1.6 Gerenciamento Integrado

No cenário do desenvolvimento industrial, avanço tecnológico, observa-se a destruição acelerada dos recursos naturais e causando desequilíbrio do ecossistema¹. O aumento da produção dos RSU vem ganhando proporções alarmante ao longo dos anos.

O grande problema dos RSU se encontra no seu descarte, que ocorre de forma inadequada como, por exemplo, nas ruas, em rios, córregos e terrenos vazios, no qual provocam efeitos tais como assoreamento de rios e córregos, entupimento de bueiros com conseqüente aumento de enchentes nas épocas de chuva, além da destruição de áreas verdes, mau cheiro, proliferação de moscas, baratas e ratos, todos com graves conseqüências diretas ou indiretas para a saúde pública (JACOBI *et al*, 2011).

Diante de tais problemas a Lei 12.305 de 2010 tem diretrizes do estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção de bens e consumo, dos programas de educação ambiental e da ecoeficiência. Outras diretrizes dessa lei são:

- Destinação final ambientalmente adequado: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes, entre elas a disposição final.

¹ Ecossistema- Sistema composto pelos seres vivos (meio biótico) e o local onde eles vivem.

- Reutilização: processo de aproveitar os resíduos sem qualquer transformação física, química ou biológica considerando as condições padrões estabelecidas pelos órgãos competentes.
- Coleta seletiva: coleta de resíduos sólidos provenientes segregados de acordo com a sua constituição.
- Reciclagem: processo pelo qual materiais que se tornariam lixo são desviados para ser utilizados como matéria prima na manufatura de bens.
- Logística Reversa: instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.

Para o gerenciamento integrado dos RSU é necessário conhecer as suas características e os aspectos que a influenciam, como: número de habitantes do município, poder aquisitivo da população, condições climáticas, hábitos e costumes da população, nível educacional (GRIPPI, 2006).

3.1.7 Matriz de Indicadores

De forma geral, os indicadores tentam integrar as diferentes dimensões da sustentabilidade tornando possível, por meio de sua interpretação, a análise da real situação e perspectivas da realidade em torno dos entrevistados (MILANEZ, 2002).

De acordo com Miranda e Teixeira, 2004 *apude* Santiago, 2012, informam que para avaliar a sustentabilidade em um determinado local é preciso a reunião de diferentes informações que possam traduzir o grau que se encontra. Para tanto, os indicadores são importantes ferramentas de avaliação, desde que seja possível relacioná-los aos conceitos e princípios de sustentabilidade.

Miranda e Teixeira, 2004 informam que para avaliar a sustentabilidade em um determinado local é preciso a reunião de diferentes informações que possam traduzir o grau que se encontra. Para tanto, os indicadores são importantes ferramentas de avaliação, desde que seja possível relacioná-los aos conceitos e princípios de sustentabilidade.

Dimensão política: encontrar-se relacionada com a adoção de atos regulatórios/normativos em políticas de gestão de resíduos sólidos uma vez que tais atos ou normas norteiam e resolvem diretrizes e arrumações institucionais em conformidade com as orientações internacionais e nacionais, em cautela às demandas locais para o gerenciamento de resíduos (SANTIAGO,2012).

Dimensão tecnológica: baseia na utilização de tecnologias limpas e adequada de processamento de resíduos de acordo com a conjuntura socioeconômico, cultural e ambiental local. As tecnologias adequadas devem procurar privilegiar a não produção de produtos que não possam regressar ao processo produtivo, o controle na geração, a minimização, o reuso e a reciclagem dos resíduos sólidos (SANTIAGO,2012).

Dimensão ecológica/ambiental: consiste na barreira do uso dos recursos naturais não renováveis, na preservação da capacidade de autodepuração dos ecossistemas, condução de rejeitos para os aterros, na minimização da geração, no reaproveitamento, reciclagem e tratamento de resíduos antes da sua disposição final (SANTIAGO,2012).

Dimensão do conhecimento ambiental e mobilização social: destaca-se por envolver todos os aspectos pertinentes à problemática dos resíduos sólidos e por ocupar sempre a posição de base para todos os demais princípios. Abarca ainda as informações trocadas com a sociedade e a sensibilização dessas pessoas face aos problemas relacionados à GRSU (SANTIAGO,2012).

3.2 Energia e Resíduos Sólidos Urbanos

Os principais eixos que sustentam a existência e a sobrevivência da vida humana são: os alimentos, a água e a energia. Eles se movem sempre articulados e quando um é afetado, os outros são atingidos, e a vida vê-se ameaçada (BLEY, 2014).

Físico e matemático James Clerk Maxwell definiu em 1872 a energia da seguinte forma: “energia é aquilo que permite uma mudança na configuração de um sistema, em oposição a uma força que resiste a esta mudança” (VIANA *et all*, 2012).

A energia se apresenta de diversas formas, que podem ser convertidas entre si. Entre elas: energia química, energia mecânica, energia térmica, energia eletromagnética, energia nuclear e energia elétrica. A energia elétrica é sem dúvida a forma mais utilizada no mundo. Para garantir o suprimento energético necessário, o homem como ser racional, criou as mais diferentes formas de geração de energia elétrica.

3.2.1 Matriz Energética Brasileira

O consumo de energia elétrica a nível global tem crescido rapidamente. As principais requisições energéticas no mundo provêm de fontes convencionais não renováveis tais como, carvão, óleo, gás natural e o petróleo. Da ciência sobre a limitação da vida dos combustíveis convencionais num futuro próximo, faz-se necessário dar maior atenção as fontes renováveis, tais como energia solar, a energia eólica, a biomassa e a energia gerada a partir dos resíduos sólidos urbanos.

Segundo MME (Ministério de Minas e Energia) publicado na Resenha Energética Brasileira em Junho de 2017, a Oferta Interna de Energia (OIE), em 2016, teve 288,3 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo), apresentando uma queda de 3,8% comparando ao ano 2015, e representando 2,07% da energia do mundo. A Tabela 2 mostra a composição da Oferta Interna de Energia dos anos 2015 e 2016, onde pode ser observado um pequeno aumento da contribuição das fontes renováveis, como decorrência, especialmente, da forte queda da contribuição das fontes renováveis com porcentagem negativa de 7,3%.

Tabela 2: Oferta Interna de Energia (OIE)

ESPECIFICAÇÃO	mil tep			Estrutura %	
	2015	2016	16/15%	2015	2016
NÃO-RENOVÁVEIS	175.903	162.975	-7,3	58,7	56,5
PETRÓLEO E DERIVADOS	111.626	105.354	-5,6	37,3	36,5
GÁS NATURAL	40.971	35.569	-13,2	13,7	12,3
CARVÃO MINERAL E DERIVADOS	17.625	15.920	-9,7	5,9	5,5
URANIO (U308) DERIVADOS	3.855	4.211	9,2	1,3	1,5
OUTRAS NÃO-RENOVÁVEIS (*)	1.826	1.921	5,2	0,6	0,7
RENOVÁVEIS	123.668	125.345	1,4	41,3	43,5
HIDRÁULICA E ELETRICIDADE	33.897	36.265	7,0	11,3	12,6
LENHA E CARVÃO VEGETAL	24.900	23.095	-7,2	8,3	8,0
DERIVADOS DA CANA-DE-AÇÚCAR	50.648	50.318	-0,7	16,9	17,5

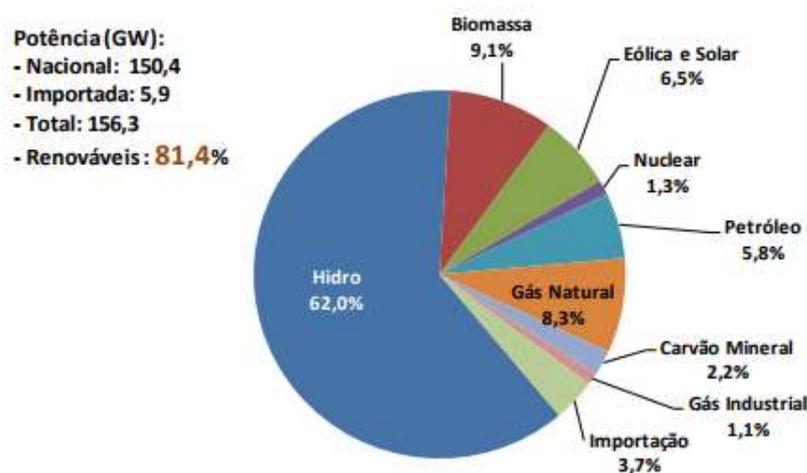
OUTRAS RENOVÁVEIS	14.223	15.667	-10,1	4,7	5,4
TOTAL	299.570	288.319	-3,8	100,0	100,0
Dos quais fósseis	172.047	158.763	-7,7	57,4	55,1

Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2017

O conjunto “Outras Renováveis” constituídos por (eólica, biodiesel, lixívia e outros resíduos de biomassa incluindo RSU), com crescimento de 10,1% de 2015 para 2016, e a hidráulica com aumento de 7%, deram sustento ao aumento relativo das renováveis. Neste contexto, as fontes renováveis passaram a uma participação de 43,5% na demanda total de energia de 2016 (OIE), que antes apresentava 41,3% em 2015. De acordo com os dados percebe-se que a energia renovável mostrou uma queda na participação na matriz energética nacional e são precisos de políticas públicas nacionais mais eficientes para incentivar o desenvolvimento aprimorado de tecnologias destas fontes de energia.

O Gráfico 5 ilustra a matriz de oferta de potência de energia elétrica. Verifica-se a superioridade da potência hidráulica, com 65,7% de participação, incluindo a importação.

Gráfico 5: Oferta de Potência de Geração Elétrica – 2016 (%)

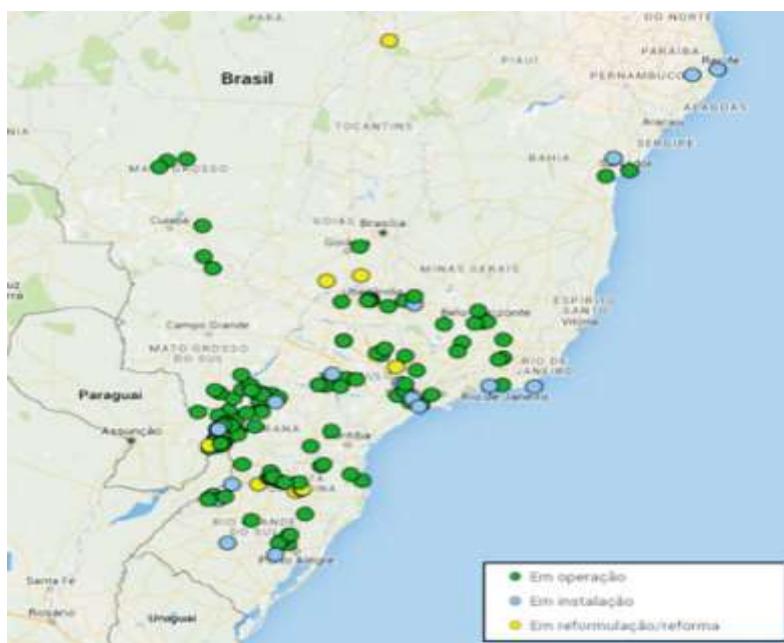


Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2017

A participação de energias renováveis na matriz elétrica no Brasil é muito significativa onde a biomassa contribuí com 9,1%, a eólica e solar com 6,5%.

Segundo MME, 2017 *apud* Cadastro Nacional do Biogás, mantido pelo CIBiogás - Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás, em 2015 haviam 127 unidades no Brasil que produziam energia a partir de biogás com uma produção aproximada de 1,6 milhões de m³ de biogás/dia. Para além dessas, haviam 22 unidades em projeção ou instalação e 10 em reforma, totalizando 153 unidades cadastradas. Na Figura 1 é apresentada uma imagem com a distribuição espacial das unidades no território brasileiro, sendo que as 153 unidades cadastradas estão localizadas principalmente nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do país.

Figura 2: Localização das unidades conforme situação.



Fonte: Relatório de Biogás e Biometano do Mercosul, 2017

Nas categorias das unidades em operação como mostrado na Tabela 3, as unidades mais representativas são 47% que utilizavam substratos da agropecuária e 34% substratos da indústria.

Tabela 3: Quantidade de unidades e produção de biogás para energia por categoria no Brasil (dados de 2015)

Categoria da unidade	Quantidade unidades		Produção de Biogás (m ³ /dia)	
	Quantidade	Porcentagem	Produção	Porcentagem
Estação de tratamento de esgoto	7	5%	85.052	5%

Codigestão	8	6%	13.905	1%
Agropecuária	60	47%	469.038	29%
Indústria	43	34%	368.206	22%
Aterro sanitário	9	7%	705.190	43%
Total	127		1.641,39	

Fonte: Relatório de Biogás e Biometano do Mercosul, 2017

Em relação à quantidade de biogás produzido para fins energéticos, 43% são provenientes de aterros sanitários, 29% de substratos da agropecuária e 22% da indústria. Isso mostra a capacidade potencial dos aterros sanitários que pode ser aproveitado em maiores escalas aumentando o número de unidades para várias regiões brasileiras que enfrenta a problemática dos RSU. Nesse caso o que muitas vezes foi visto como um problema, tornaria uma solução energética significativo.

3.2.2 Tecnologias de Aproveitamento Energético dos RSU

As principais rotas tecnológicas para o aproveitamento energético de RSU empregam os processos térmicos ou biológicos. Os processos térmicos utilizam a energia na forma de calor como meio de recuperar, separar ou neutralizar determinadas substâncias presentes nos resíduos como por exemplo: reduzir massa e volume, ou produzir energia térmica, elétrica ou mecânica (TORRES *et all*, 2015).

A Resolução CONAMA nº 316/2002, define o tratamento térmico como todo e qualquer processo cuja operação seja realizada acima da temperatura mínima de 800 °C. Atualmente, as principais tecnologias de tratamento térmico de resíduos, com aproveitamento energético, são a incineração, a pirólise, a gaseificação, o plasma e o coprocessamento em forno de *clínquer*.

O processo biológico consiste em uma forma de tratamento da matéria orgânica biodegradável em que se intensifica a ação de microrganismos, tendendo à estabilização e oxidação dessa matéria (COSTA, 2016). Esse processo poderá ser classificado como aeróbio ou anaeróbio, dependendo da presença ou ausência de oxigênio

Este tratamento aplica-se aos resíduos originários de atividades industriais, domésticas, comerciais e rurais: restos de alimentos e poda, madeiras, papéis, papelão. Possui ainda larga aplicação nos processos de tratamento de esgoto, em específico a etapa secundária (biológico) de águas residuais (KAWATOKO, 2015).

Ressalte-se que para esse trabalho os processos térmicos não serão especificados, pois não são objetivos deste estudo, mas com possibilidade de trabalhos futuros.

As tecnologias mais desenvolvidas de tratamento biológico de resíduos com aproveitamento energético são decorrentes da utilização do biogás proveniente da biometanização de resíduos em reatores anaeróbios ou da captura em aterros sanitários (ALMEIDA, 2010).

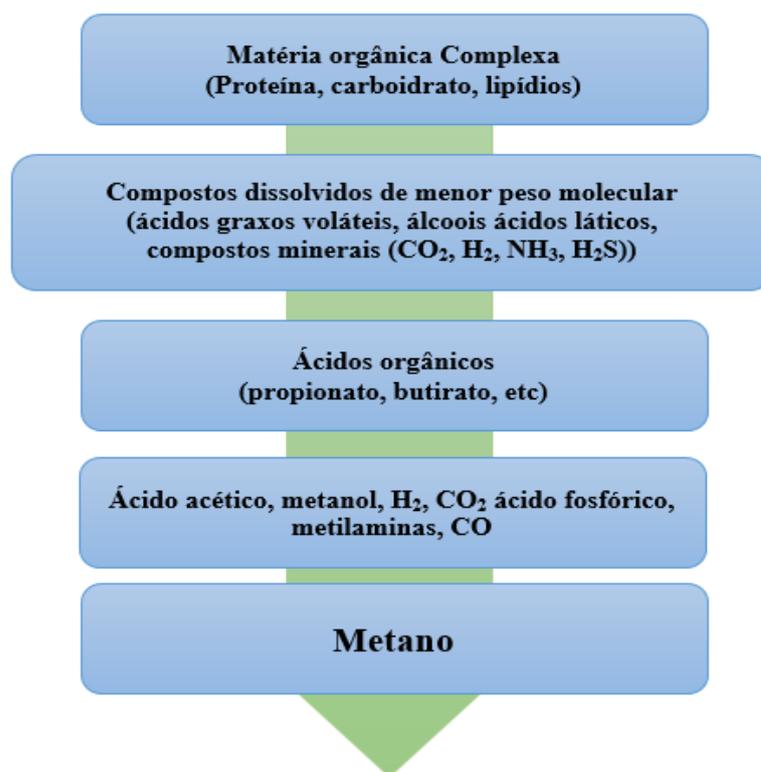
De acordo com Rezende, 2015 as plantas são constituídas basicamente pelas seguintes etapas:

- Recepção (preferencialmente procedente de coleta seletiva);
- Pré-tratamento (triagem, trituração da fração orgânica de RSU e preparação da massa de alimentação do reator);
- Digestão anaeróbia da fração orgânica (gerando biogás e “inóculo” — um lodo biológico);
- Recuperação do biogás (para produção de energia elétrica, aquecimento, resfriamento, injeção em rede de gás natural, combustível de veículos ou iluminação);
- Tratamento/controlado de ar ambiente, efluentes atmosféricos e líquidos e resíduos sólidos.

A digestão anaeróbia ocorre em quatro estágios: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, com atuação predominante de diferentes grupos de bactérias² em cada estágio como mostra a Figura 3.

² Bactérias: organismos unicelulares de dimensões microscópicas que podem sobreviver em ambiente aeróbias, anaeróbias ou facultativas.

Figura 3: Fluxograma do processo anaeróbio



Fonte: Adaptado de CHERNICHARO (1997) e VERMA (2002)

As porcentagens das substâncias geradas são geralmente nessas proporções: como dióxido de carbono (CO₂), em torno de 46%; metano (CH₄), em torno de 54%; água; gás sulfídrico (H₂S); e outros componentes (ENGEBIO, 2009 apud FEAM, 2012). No meio industrial é padrão ser adotado o percentual de 50% para expressar a concentração do metano como mostra a Tabela 4.

Tabela 4: Composição típica de biogás

GAS	COMPOSIÇÃO
Metano	55 a 70% por volume
Dióxido de Carbono	30 a 45% por volume
Sulfeto de Hidrogênio	200 a 4.000 ppm por volume
Teor de CH ₄ por tonelada de RSU	167 a 373 MJ/ton RSU

Fonte: COSTA, 2005

O aproveitamento do biogás para geração de energia é aplicado em alguns municípios no Brasil, porém abrange uma quantidade pequena dos aterros existentes. O

ideal é que as técnicas de recuperação de energia sejam estimuladas, da mesma maneira como ocorre com os incentivos à energia solar e à eólica (COSTA, 2005).

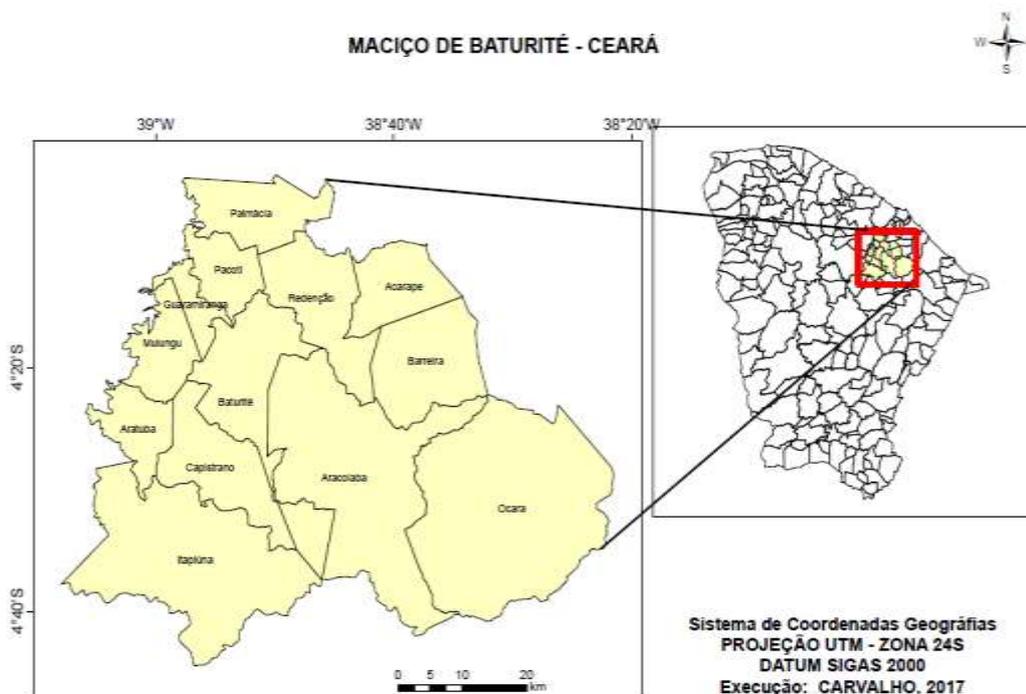
Segundo o Relatório de Biogás e Biometano do Mercosul do ano 2017, em relação à principal aplicação energética do biogás nas unidades em operação no Brasil, das 127 unidades, 49% aplicam o biogás na geração de energia térmica e 44% na geração de energia elétrica.

3.3 Local de Estudo: Maciço de Baturité – Ceará

3.3.1 Localização Geográfica e Descrição dos Municípios

O Maciço de Baturité é constituído por treze municípios: Acarape, Aracoiaba, Aratuba, Barreira, Baturité, Capistrano, Guaramiranga, Itapuína, Mulungu, Ocara, Palmácia, Pacoti, Redenção. Os municípios localizam-se em média cerca de 100 km, ao sul da Cidade de Fortaleza capital do Ceará. O mapa da Figura 4 a seguir mostra a localização geográfica do Maciço de Baturité no estado de Ceará.

Figura 4: Localização Geográfica do Maciço de Baturité no Estado do Ceará



Fonte: Autora

Ao total são 230.523 habitantes de acordo com dados do IBGE-2010, mostrada na Tabela 5 a baixo. A mesma tabela apresenta também a quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados por município segundo Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento.

Tabela 5 Dados do Maciço de Baturité

Municípios do Maciço de Baturité	População (Censo 2010)	População Estimada (Ano 2017)	Quantidade de RSU(Ton/Ano) 2013
Acarape	15.338	16.543	400,00
Aracoiaba	25.391	26.269	----
Aratuba	11.529	11.244	589,00
Barreira	19.573	20.978	2.328,0
Baturité	33.321	35.351	1.860,0
Capistrano	17.062	17.668	3.600,0
Guaramiranga	4.164	3.547	----
Itapiúna	18.626	20.014	3.134,0
Mulungu	11.485	12.831	----
Ocara	24.007	25.394	1.240,0
Pacoti	11.607	11.960	----
Palmácia	12.005	13.145	5.040,0
Redenção	26.415	27.441	250,00
Total do Maciço	230.523	242.385	18.441

Fonte: Autora

A região possui inúmeros trechos ecológicas beneficiadas pelo ecossistema que inclui flora e fauna bastante diversificadas, a chamada Mata Atlântica. Em consequência da necessidade de proteção desse patrimônio natural, foi criada Área de Preservação Ambiental (APA) do Maciço de Baturité. Ela foi criada em 18 de setembro de 1990, pelo decreto estadual 20.956, ocupando uma área de 32.690 hectares (FRANCINIZE, 2009).

3.3.2 A UNILAB

As atividades de Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB) se concentram nos estados brasileiros do Ceará e da Bahia. No Ceará, a universidade conta com três campos: Os campi da Liberdade e das Auroras situada no município de Redenção, e o dos Palmares localizado no município de Acarape. Na Bahia, a UNILAB está presente no município de São Francisco do Conde, Campus dos Malês. Este trabalho relata a UNILAB mais especificamente do estado do Ceará.

Campus da Liberdade possui 10 salas de aula, biblioteca, auditório, anfiteatro, restaurante universitário e laboratório de informática. Unidade Acadêmica dos

Palmares tem 12 salas de aula, biblioteca, restaurante universitário. Campus das Auroras tem 40 salas de aula, 33 laboratórios, 120 gabinetes de professor, 10 salas de coordenação de cursos. Campus dos Malês contem 10 salas de aula, biblioteca, auditório, laboratório de informática, restaurante universitário, quadra esportiva coberta.

A UNILAB oferece graduação, pós graduação, presencial e a distância. No total contam com 6.803 estudantes de diferentes países da Comunidade dos Pais de Língua Português (CPLP). Conta também com 597 servidores incluindo os docentes e técnico-administrativos, totalizando 7600 pessoas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizadas três metodologias distintas para avaliação de RSU. A primeira metodologia foi baseada em aplicação de questionário aos gestores de cada município do Maciço de Baturité, a segunda foi visita aos seus respectivos lixões. A terceira metodologia consiste na análise laboratorial onde foi feito um teste de bioquímico de metano da composição da matéria orgânica e lodo da UNILAB. A escolha das amostras da UNILAB se deram devido à grande representatividade quantitativa da geração dos RSU em relação à região, tanto no volume da matéria orgânica do restaurante universitário como nos resíduos de esgoto. Somente na UNILAB tem três estações do tratamento de esgoto.

4.1 Aplicação de questionários nos gestores municipais de cada cidade

A pesquisa foi iniciada com o levantamento bibliográfico de indicadores de sustentabilidade utilizados para avaliar a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (GRSU). A quantidade de indicadores encontrada na literatura foi muito significativa. Reduziu-se este número para não tornar a matriz extensa, e também facilitar a análise, considerando indicadores semelhantes ao do (SANTIAGO, 2010).

As dimensões utilizadas para englobar os indicadores de sustentabilidade da RSU neste trabalho foram quatro: políticas, tecnológicas, ambientais, e conhecimento ambiental e mobilização social. Considera-se um número representativo conforme alguns autores (MORAES e BORJA,2010), (FURIAM e GÜNTHER, 2006 *apud*

SANTIAGO, 2010). Baseados nestes indicadores foram elaboradas desaseis questões essenciais para construção de matriz de sustentabilidade.

4.2 Pesquisas de campo aos locais dos descartes dos RSU

As pesquisas de campo foram desenvolvidas através de visitas *in loco* onde foram levantadas as reais situações de descartes dos resíduos. Foram visitados todos os lixões do Maciço de Baturité realizando entrevistas com os catadores presentes no momento da visita. Foram observadas também algumas questões sociais causadas pela existência dos lixões a céu aberto. Todos os lixões foram localizados geograficamente através de coordenadas geográficas geradas no *Google Earth*.

4.3 Análise Laboratorial: Teste de biodegradabilidade

A pesquisa foi desenvolvida no LABOSAN (Laboratório de Saneamento) do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) da Universidade Federal do Ceará (UFC) em Fortaleza-CE.

O experimento foi constituído na avaliação do potencial bioquímico de metano da relação Inóculo/Substrato (I/S), de forma a produzir o gás metano. A pesquisa decorreu em cinco fases: na primeira fase, foram caracterizadas as propriedades físicas e químicas dos diferentes inóculos coletados. Após a avaliação do desempenho dos inóculos, selecionou-se um inóculo e propôs-se duas relações I/S para o desenvolvimento do teste de biodegradabilidade. Caracterizou-se os meios de reação antes, durante e depois do teste.

4.3.1 Inóculo e matéria orgânica utilizada

O lodo (inóculo) foi coletado no reator UASB³ da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), UNILAB. A coleta se deu a uma altura considerável a nível da base do reator de forma a evitar um lodo saturado, em seguida foi colocado em garrafa PET com capacidade de 1L e posteriormente conservado numa temperatura entre 4 a 10 °C durante o traslado até UFC-Fortaleza.

Figura 5: Coleta da amostra

³ Reator UASB- Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (Pontes,2003).



Fonte: Autora

A matéria orgânica foi coletada no Restaurante Universitário (RU) da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira em seguida conservada a temperatura entre 4 a 10 °C durante o traslado até a UFC-Fortaleza. Na constituição do resíduo orgânico encontrava-se restos de arroz, macarrão, carne, frango, frutas, feijão, farofa, sendo proposto um substrato bastante diversificado.

Figura 6: Coleta da matéria orgânica



Fonte: Autora

4.3.2 Procedimento Experimental

O experimento foi realizado com cinco reatores de bancada do tipo batelada⁴, cujo objetivo principal foi promover a degradação das frações degradáveis dos resíduos em condições anaeróbias. Assim, para aumentar a confiabilidade de comparação entre os resultados, o experimento foi realizado em duplicata com resíduos e lodo, e somente um reator com lodo bruto.

⁴ Batelada- Segundo Nascimento (2008), reatores do tipo batelada consiste no modelo de alimentação descontínua da amostra, ou seja, o preenchimento com as amostras de resíduo é realizado integralmente pela abertura superior do reator.

Figura 7: Composição do meio de reação e frasco de 250 mL utilizado nos testes de biodegradabilidade.



Fonte: Autora

Os reatores possuem um volume de 250 mL conforme indicado na Figura 7. São de vidro escuro que impede a entrada de radiação de luz que interfere no processo. O volume de *Heads Pace* adotado foi de 50%, equivalente a 12,50 mL. Cada condição do ensaio foi analisada em duplicata para garantir uma boa reprodutibilidade e tratamento estatístico dos dados.

A quantificação do biogás gerado no interior dos frascos foi mensurada por método manométrico, com a utilização de um indicador universal microprocessador acoplado a um transmissor de pressão de um medidor universal da marca WARME que pode ser observado na Figura 8. Foram mantidos constantes a temperatura num valor de 35° C e o volume de *Heads Pace*, contudo o acréscimo de pressão medido no interior do recipiente correspondia ao volume de biogás produzido.

Figura 8: Medidor de Pressão



Fonte: Autora

O biogás originado dos ensaios foi caracterizado e quantificado por análise de cromatografia gasosa, utilizando o cromatógrafo GC 17A, marca Shimadzu, acoplado a um Detector de Condutividade Térmica (TCD). Na Figura 9 é apresentado o cromatógrafo usado e na Tabela 6 as suas especificações as condições da técnica

aplicada na análise do biogás conforme metodologia desenvolvida e validada por (CARNEIRO, 2012).

Figura 9: Foto do cromatógrafo utilizado



Fonte: Autora

Tabela 6 - Condições de análise do biogás no GC-TCD

Parâmetros GC-TCD	
Modo de injeção	<i>Splitless</i>
Volume de injeção (ml)	1
Temperatura do injetor (°C)	40
Gás de arraste	He
Fluxo na coluna (ml/min)	0,7
Temperatura do forno (°C)	50
Temperatura do detector (°C)	200
Tempo de corrida (min)	5

Fonte: CARNEIRO, 2012

A metodologia dos ensaios de biodegradabilidade seguiu os seguintes procedimentos:

- a) Caracterização o lodo mediante variáveis físico químicas

Tabela 7: Metodologia adotada para caracterização dos resíduos.

Parâmetro	Método	Referência
PH	Potenciométrico – 9045D	EPHA (2004)
Sólidos totais - ST (g.L ⁻¹)	Gravimétrico: evaporação e Secagem a 103 – 105°C.	APHA <i>et al.</i> (2005)
Sólidos totais voláteis – STV (g.L ⁻¹)	Gravimétrico: ignição a 500 – 550°C	
Alcalinidade Total (gCaCO ₃ .L ⁻¹)	Titulação potenciométrica: titulação de neutralização com H ₂ SO ₄	APHA <i>et al.</i> (2005)

Ácido Graxos Voláteis (gHác.L ⁻¹)	KAPP	KAPP (1984) <i>apud</i> Ribas, Moraes e Foresti (2007)
DQO (gO ₂ .L ⁻¹)	Espectrofotométrico: digestão por refluxação fechada. Oxidação da matéria orgânica com K ₂ Cr ₂ O ₇ em meio ácido.	APHA <i>et al.</i> (2005)
Nitrogênio (%)	Digestão seguida de destilação micro Kjeldahl e titulação ácido-base	APHA <i>et al.</i> (2005)
Carbono (%)	Combustão a alta temperatura	APHA <i>et al.</i> (2005)

Fonte: Autora

b) Separação e identificação os frascos de reação de volume de 250mL. Realizar este procedimento em duplicata;

c) Diluição do inóculo para atingir uma concentração inicial de 3,8 g STV/L (valor situado na faixa de concentração recomendada para testes de biodegradabilidade sob agitação);

d) Adicionar dos volumes determinados das soluções de lodo e substrato nos frascos de reação devidamente identificados, destaca-se que o volume da mistura (lodo + substrato + água) deverá ocupar 50% da capacidade do frasco (125,0 ml), já que 50% se constitui do *headspace*;

e) Complementação com água destilada para alcançar o volume da mistura de 125,0 ml.

f) Ajuste o pH da solução basal numa faixa entre 6,5 e 7,5;

g) Separação uma alíquota do meio de reação para caracterização físico química durante a etapa inicial do ensaio conforme parâmetros apontados na Tabela 4.3 para caracterização do inóculo.

h) Lacre dos frascos de reação, evitando a fuga do biogás durante o teste;

i) Remoção o O₂ no interior do frasco, purgando-o com um gás inerte, neste caso a purga foi feita com N₂ grau FID por 1 minuto como mostra a Figura 5.7. Certificando que a pressão no interior do frasco seja igual à atmosférica (1 atm);

Figura 10: Remoção de CO₂ dos reatores



Fonte: Autora

j) Incubação dos frascos a 35°C, sob agitação a 150 rpm. Para incubação foi utilizado um SHAKER ORBITAL, de fabricante Marconi e modelo MA-420.

Figura 11: Frascos incubados a 35°C, sob agitação de 150 rpm



Fonte: Autora

k) Monitoramento a produção de metano diariamente por um período suficiente para cessar ou estabilizar a produção de biogás;

l) Coleta de amostras para realizar as análises físico química do meio de reação, ao final de teste, através dos mesmos parâmetros caracterizados inicialmente como mostra a Tabela 4.2;

Os resultados de volume de biogás gerado nos reatores foram calculados através das leituras das pressões e temperaturas de cada reator, bem como das pressões e temperaturas atmosféricas. As Equações 1, 2, 3 mostram as fórmulas utilizadas para os cálculos do potencial de geração de biogás (ALVES, 2008).

Volume de biogás acumulado em T2: (Equação 1)

$$Volume = \frac{PF \times VUF \times 22,41 \times 1000}{83,14 \times TF}$$

Volume Acumulado (mL): [Volume Gerado entre T e (T+1)] + VGA (mL) (Equação 2)

Volume de biogás acumulado CNTP (NmL): (Equação 3)

$$Volume\ acumulado\ normal = VA \times \frac{273}{TF} \times \frac{(Patm - 42)}{760}$$

Onde:

Vol.: Volume

T: Tempo (dias);

PF (mbar): Pressão do Frasco em milibar;

VUF (L): Volume Útil do Frasco em litros;

TF (K): Temperatura do Frasco em Kelvin;

VGA (mL): Volume de biogás acumulado do dia anterior em mililitros;

TF (K): Temperatura do Frasco em Kelvin;

Patm. (mbar): Pressão Atmosférica em milibar.

Assim o volume de biogás acumulado (mL) foi calculado e corrigido para as Condições Normais de Temperatura e Pressão – CNTP, obtendo-se desta forma o volume de biogás em NmL.

Para avaliação dos resultados, foram utilizados programas para tratamento e análise dos dados obtidos. A organização dos dados e formatação de tabelas e gráficos foi realizada através do programa Excel 2017 (Microsoft).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Matriz de indicadores

Através da pesquisa para aquisição de dados, realização de entrevistas, aplicação do questionário que se encontra no anexo 1 e análise exploratória dos mesmos foi elaborado a matriz de indicadores que permite obter uma visão sistemática da gestão dos RSU do Maciço de Baturité.

Tabela 8: Matriz de indicadores de RSU do Maciço de Baturité

Dimensões	Perguntas Chaves	Indicadores	Resposta
Políticas	Está em consonância com a Política Nacional de Saneamento Básico?	Entre setores?	Não
	Está em consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos?	Possui um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos	Não
Apresenta fiscalização dos serviços de limpeza pública			
Tecnológicas	Observa princípios da tecnologia apropriada?	Utiliza mão de obra local	Sim, os funcionários da coleta são do município.
		Veículos coletores específicos e apropriados em termos de capacidade, tamanho para as necessidades de geração local	Não
Ambientais	Exerce pouco impacto ambientais?	Existência de coleta seletiva no local?	Não
		Existência de aterro sanitário/controlado e licenciado	Não
		Há aproveitamento de resíduos orgânicos	Não
		Existência de pontos de entrega voluntária a dos resíduos recicláveis	Não
		Há recuperação de áreas degradadas	Não, quando dá-se fim a um lixão, os resíduos são queimados e subterrados no próprio local
Educação ambiental e mobilização social	Existe a prática de Educação Ambiental e Cidadania?	Inclusão de ações de Educação Ambiental	Não
		Capacitação de agentes que atuam na limpeza pública	Não
		Realização de eventos municipais com a temática ambiental	Não

Fonte: Autora

Na região estudada a limpeza urbana, coleta e disposição final dos RSU são inteiramente da responsabilidade das suas respectivas prefeituras, da gerencia mais especificamente da secretaria de infraestrutura. Os funcionários, os transportes e a metodologia dessa logística são traçadas e executadas pela equipe de trabalho montado pelos gestores.

Quanto as políticas nacionais tanto como o saneamento básico quanto a de resíduos sólidos a região do Maciço de Baturité se não se encontra de acordo. A PNRS instituída pela Lei 12.305 de 2010 estabelece princípios, objetivos, e instrumentos, bem como as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis que infelizmente não foram adotadas até então.

Em relação a tecnologia a situação é precária, somente o município de Acarape tem um caminhão com prensa que possibilita coleta adequada dos RSU, quanto aos restos dos municípios usam caminhão caçambas que infelizmente no traslado até o lixão os resíduos vão caindo no caminho. Então percebe-se que as tecnologias para coleta dos resíduos nesta região não são aplicadas.

A questão ambiental na região deixa muito a desejar, pois infelizmente não existem projetos de educação ambiental enraizado nos municípios para a população no sentido de conscientização voltada para importância da separação das frações dos RSU de forma a possibilitar o seu reaproveitamento para reciclagem.

5.2 Forma de Tratamento e Disposição Final dos Resíduos

Quanto à disposição dos resíduos sólidos, a situação apresenta-se crítica nos municípios que integram a área do estudo, com as prefeituras fazendo uso de lixões a céu aberto como deposição final dos RSU, sem qualquer tipo de proteção ou impermeabilização do solo contribuindo para a poluição dos recursos hídricos, para a degradação da paisagem e para a proliferação de vetores de doenças. Praticamente em torno de todos os lixões existem matas que desprotegidas estão em contato direto com os resíduos. Na Tabela 9 são apresentadas as coordenadas geográficas e na Tabela 10, 11 e 12 são apresentadas georreferenciamento e as fotos dos lixões de todos os municípios do Maciço de Baturité.

Tabela 9: Localização Geográfica dos Lixões de cada município do Maciço de Baturité

Município	D em (Km)	Coordenadas Relativas					Coordenadas Absolutas - Standard UTM - Zona 24		
			Graus	M	S	Hemisfério	Easting	Northing	Hemisfério
Acarape	3,66	Lat.	4	15	10,09	S	533674	9529922	S
		Long.	38	41	47,59	O			
Aracoiaba	5,31	Lat.	4	20	39,77	S	525555	9519802	S
		Long.	38	46	10,88	O			
Aratuba	3,72	Lat.	4	25	34,16	S	491585	9510767	S
		Long.	39	4	33,06	O			
Barreira	5,36	Lat.	4	20	16,92	S	539724	9520498	S
		Long.	38	38	31,17	O			
Baturité	4,19	Lat.	4	21	50,8	S	515868	9509969	S
		Long.	38	51	24,26	O			
Capistrano	3,44	Lat.	4	21	50,8	S	512895	9517624	S
		Long.	38	51	24,26	O			
Guaramiranga	14,1	Lat.	4	21	50,8	S	515896	9517624	S
		Long.	38	51	24,26	O			
Itapiúna	2,75	Lat.	4	35	16,2	S	508591	9492895	S
		Long.	38	55	21,17	O			
Mulungu	16,8	Lat.	4	35	16,2	S	508591	9492895	S
		Long.	38	55	21,17	O			
Ocara	2,56	Lat.	4	28	50,97	S	542286. 2	9504713.1	S
		Long.	38	37	7,79	O			
Pacoti	17	Lat.	4	35	16,2	S	508591	9492895	S
		Long.	38	55	21,17	O			
Palmácia	10,2	Lat.	4	5	47,49	S	525646	9547200	S
		Long.	38	46	8,17	O			
Redenção	6,68	Lat.	4	16	58,83	S	531287	9526584	S
		Long.	38	43	5	O			

Fonte: Autora

Legenda da configuração da Tabela 5.2:

D em (Km) – Distancia em quilômetros do Lixão até a cede do Município;**Lat.** – Latitude; **Long.** – Longitude; **M** – Minutos; **S** – Segundos.

De acordo com a localização geográfica dos lixões de cada município, observa-se que os lixões se situam em média 8 km distantes das cedés isolados dos centros urbanos.

Tabela 10: Georreferenciamento e as fotos dos lixões

Municípios	Georreferenciamento	Lixão	Recicláveis
Acarape			
Aracoiaba			
Aratuba			

Fonte: Autora

Tabela 11: Georreferenciamento e as fotos dos lixões

Municípios	Georreferenciamento	Lixão	Recicláveis
Barreira			
Baturité			

Capistrano			
-------------------	---	--	---

Fonte: Autora

Tabela 12: Georreferenciamento e as fotos dos lixões

Municípios	Georreferenciamento	Lixão	Recicláveis
Itapiúna			
Ocara			
Palmácia			
Redenção			

Fonte: Autora

Os Resíduos Sólidos Urbanos dos municípios de Guaramiranga, Mulungu e Pacoti, são descartados no lixão de Baturité. As gestões dos municípios estabeleceram um acordo para que o lixão de Baturité recebesse esses resíduos, sendo o transporte e a manutenção da área sob a responsabilidade dos municípios que geram os resíduos.

Durante a pesquisa de campo nos lixões foram verificadas também a existência das seguintes práticas: queima de resíduos, escavação de valas, presença de catadores, moradia de catadores e existência do projeto Ecolece⁵ como mostra a Tabelas 13.

Tabela 13: Aspectos Ambientais da Área de Destino Final no Maciço de Baturité

Municípios	Aspectos Ambientais					Projeto ECOELCE
	Queima de RSU	Escavação de valas	Presença de catadores	Presença de moradias	Presença de Crianças	
Acarape	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não
Aracoiaba	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Aratuba	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não
Barreira	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Baturité	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Capistrano	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Guaramiranga	—	—	—	—	—	—
Itapiúna	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Mulungu	—	—	—	—	—	—
Ocara	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Paralisado
Pacoti	—	—	—	—	—	—
Palmácia	Não	Não	Sim	Não	Não	Não
Redenção	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não

Fonte: Autora

Analisando a Tabela 13 percebe-se que as formas das disposições finais não estão organizadas de forma adequada, pois a maioria não possui vala e por consequência não há recobrimento dos resíduos, ficando a céu aberto. As queimas dos resíduos causam poluição atmosférica, além de deixar o solo empobrecido, a fumaça prejudica a saúde dos catadores que se encontram dentro dos lixões. Não há vigilância na área, facilitando, assim, a entrada de qualquer pessoa e animais, acarretando problemas de saúde pública e social. Não existe assistência social mínima para os catadores que

⁵ Ecolece- projeto de troca de resíduos por bônus na conta de luz no estado do Ceará, agora chamada de Ecoenel.

trabalham no lixão dos municípios, nem tão pouco atividades de inclusão social que tragam dignidade aos mesmos.

Tabela 14: Condições dos Catadores nos Lixões

Municípios	Uso de EPIs	Organização dos Catadores	Desenvolvimento de trabalho social com Catadores
Acarape	—	—	—
Aracoiaba	Sim completo	Não	Não
Aratuba	Não	Não	Não
Barreira	Sim incompleto	Não	Sim
Baturité	Somente botas	Não	Não
Capistrano	Não	Não	Não
Guaramiranga	—	—	—
Itapiúna	Não	Não	Não
Mulungu	—	—	—
Ocara	Não	Não	Não
Pacoti	—	—	—
Palmácia	Não	Não	Não
Redenção	Não	Não	Não

Fonte: autora

Não existe uma assistência social para os catadores que trabalham nos lixões dos municípios, nem tão pouco atividade de inclusão social que tragam dignidade aos mesmos. O processo como um todo da gestão dos RSU precisa passar primeiramente pela Educação Ambiental, visto que, segundo a PNRS-2010 a não geração, a redução, a reutilização e a reciclagem, antecedem ao descarte e aproveitamento energético.

Os municípios não dispõem de uma gestão adequada dos RSU, voltada para o descarte correta e minimização de impactos ambientais. Percebe-se que são poucas, ou quase nenhum, as atividades realizadas no município que envolve educação ambiental.

5.3 Análise Laboratorial: Teste Bioquímico de Metano

Antes da montagem dos reatores, fez-se a caracterização do lodo para conhecer os seus parâmetros e definir a concentração da análise. A tabela 15 mostra os resultados dessa avaliação.

Tabela 15: Análise do Lodo (inóculo)

Parâmetros	Resultados
Teor de Umidade (%)	99,14
ST (mg/L)	4470,0
STF (mg/L)	610,0
STV (mg/L)	3860,0
SV/ST	0,9
ST %	0,86
STV %	0,45
STF %	86,35
N%	0,81
C%	57,48
C/N	70,79
DQO g/L	7,53
pH	7,46
Alcalinidade mg/L	1269,89
AGV	3645,81
AGV/AT	2,87

Fonte: Autora

De acordo com Santiago, 2012 o inóculo deve apresentar o pH entre 7 e 8. Como pode ser observado na tabela o pH do inóculo analisado foi de 7,46, isto é se encontra de acordo. O pH apresentado do lodo utilizado, está dentro da variação típica dos lodos brutos de ETE do país, como citado por (MACHADO, 2001, apud LIMA, 2015, p. 53).

O inóculo utilizado na pesquisa possuía uma concentração de sólidos voláteis igual a 3,860 g/L.

Seu teor de umidade foi de 99,14%, confirmando a característica úmida citada por (Moraes, 2005, apud LIMA, 2015, p. 54).

As duas relações de Inoculo /Substrato foram avaliadas quanto aos parâmetros mostrados na Tabela 16 antes da montagem dos reatores e depois da desmontagem.

Tabela16: Análise da composição Inoculo/Substrato

Relação	R I/S: 1			R I/S: 0,5		
	Antes	Depois	Remoção	Antes	Depois	Remoção
Teor de Umidade (%)	98,682	99,043	----	99,17	99,29	----
ST (mg/L)	13270,0	9610,0	28%	8360,0	7130,0	15%
STF (mg/L)	6590,0	4210,0	36%	3400,0	3200,0	6%
STV (mg/L)	6680,0	5400,0	19%	4960,0	3930,0	21%
SV/ST	0,50	0,6	----	0,59	0,55	----
ST %	1,32	0,96	----	0,83	0,71	----

STV %	50,34	56,19	----	59,33	55,12	----
STF %	49,66	43,81	----	40,67	44,88	----
N%	1,134	0,54	----	1,30	0,4	----
C%	38,01	38,01	0	43,03	42,31	2%
C/N	33,52	70,39	----	33,10	105,78	
DQO g/L	14,96	10,51	30%	14,52	10,46	39%
pH	7,4	7,90	----	7,70	8,1	----
Alcalinidade mg/L	3065,59	3075,51	----	2172,70	3770,0	----
AGV	1037,55	2001,78	----	543,50	3251,8	----
AGV/AT	0,34	0,65	----	0,25	0,9	----

Fonte: Autora

Ao início da metodologia, o pH dos meios de reação analisado logo após a mistura dos substratos, e inóculo se manifestou não favorável aos organismos metanogênicos apresentando valores fora do intervalo de 7 a 8, conforme indicado por (SANTIAGO, 2012). Por este motivo, um ajuste de pH foi realizado com a adição de 1g de bicarbonato de sódio, passando a valores próximos da literatura como mostrada na Tabela 16.

Ao final do experimento, foi possível notar, também conforme Tabela 16, que o pH do meio se manteve próximo à faixa neutra, indicando que nenhuma das amostras sofreu processo de acidificação durante as etapas da digestão.

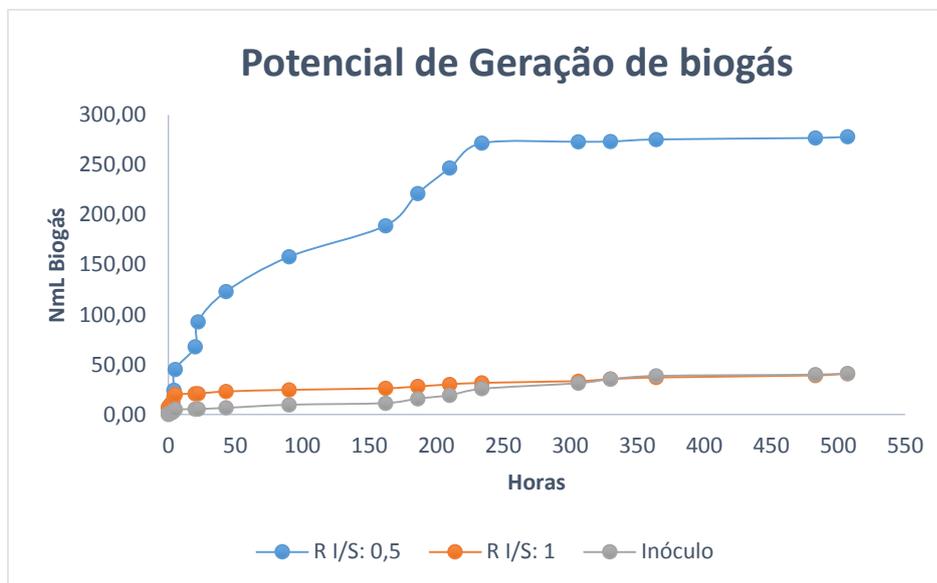
De acordo com os resultados da Tabela 16, pode-se observar que os percentuais de sólidos totais voláteis. Observando a referida tabela, do teor de sólidos de cada meio de reação, pode-se notar pela relação STV/ST que não houve muita redução da carga orgânica mostrando, mostrando assim fraca biodegradabilidade destas misturas.

Através das Tabela 15 e Tabela 16 pode-se observar que, a presença de substratos aumenta a carga orgânica da mistura, elevando, conseqüentemente, sua DQO. A eficiência de remoção de matéria orgânica desses sistemas foi média, sendo igual a 39%. Em comparação aos resultados descritos na literatura, observa que a remoção deste parâmetro nesta pesquisa foi um pouco menor. Reis (2012, apud LIMA, 2015, p. 81) obteve uma remoção máxima de 71%, já Lima (2015) teve uma remoção máxima de 81,7%, considerando análises mais que 100 dias.

Para o cálculo do volume acumulado de biogás foram utilizadas as Equações 1, 2 e 3 em que instante “t”, foi considerada a temperatura interna de 35°C e os tempos (t) estão relacionados diretamente com a duração da análise bioquímica do metano, os quais foram de 22 dias e as medições em horas.

Os volumes acumulados de biogás gerado nos reatores (duplicata), nos referidos tempos, estão expostos no Gráfico 6, com o intuito de destacar as diferenças de comportamento, composição e produção de biogás.

Gráfico 6: Potencial de Geração de Biogás

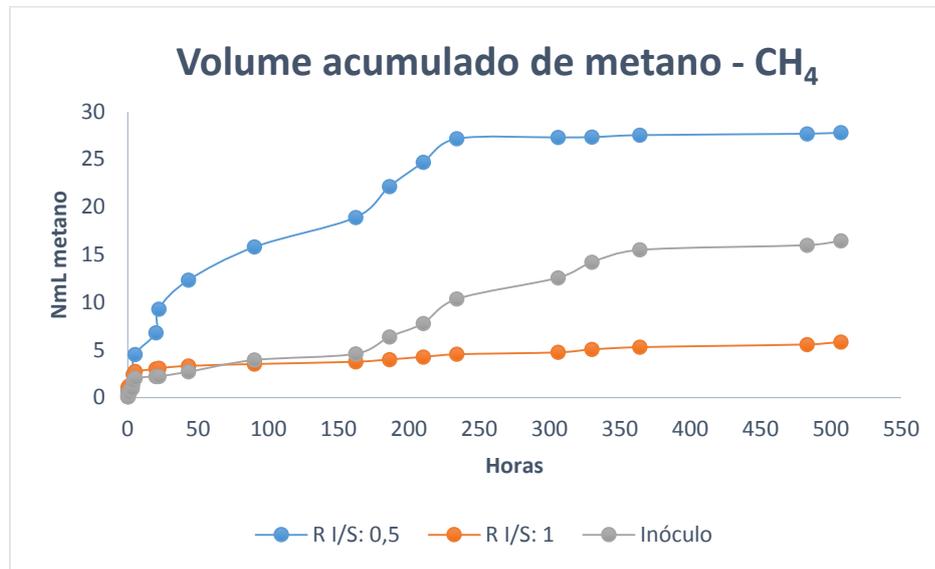


Fonte: Autora

Analisando as curvas de produção de biogás representadas no Gráfico 6, observa-se que R I/S: 0,5 apresentou velocidade de produção inicial maior do que os outros reatores. O volume acumulado do biogás atingiu volume de aproximadamente 300,00 NmL. Já os volumes acumulados de biogás para R I/S:1 e o Inóculo apresentaram valores muito baixo, menores que 50 NmL. Observa-se também que o reator R I/S: 0,5, apesar de ter uma produção de biogás crescente, tiveram muitas quedas de pressão interna durante o processo de produção, o que pode ter sido causado por perda de pressão no equipamento de medição, já que o equipamento apresentou falhas e foi trocado imediatamente.

O Gráfico 7, apresenta o volume acumulado de metano-CH₄ ao longo das 500 horas analisadas.

Gráfico 7: Volume acumulado de Metano



Fonte: Autora

De acordo com o gráfico pode observar-se que um período de zero a aproximadamente 250 horas os reatores apresentaram-se uma certa instabilidade. Após esse período o R I/S:1 e R I/ S 0,5 apresentaram mais estabilidade do que o Inóculo. O R I/S: 0,5 ter acumulado mais metano.

6. CONCLUSÃO

Atualmente os municípios que compõe o Maciço de Baturité não apresentam um Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos, sendo as gestões desses setores em todos os municípios apenas focadas na coleta convencional, transporte e destinação final, afastando-os do local de onde são gerados. Descartando-os geralmente em locais afastadas dos centros urbanos. Essa situação é considerada preocupante.

Com isso, faz-se necessário uma adequação dos municípios a Lei 12.305/2010, que tem como um dos objetivos fundamentais, priorizar para a gestão dos resíduos, a obrigatoriedade de não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final adequada.

A matriz de indicadores através das cinco dimensões da sustentabilidade possibilitou a visualização dos principais pontos de análise. Mas é necessário que disponha de priorização para que as mudanças comecem a acontecer.

Visando executar operações para solucionar ou minimizar problemas gerados de forma a impactar a sociedade quanto ao desenvolvimento sustentável, coleta, descarte e combate ao desperdício, propondo disposição final adequada para os resíduos destas cidades. O processo como um todo da gestão dos RSU passa primeiramente pela Educação Ambiental, visto que, segundo a PNRS-2010 a não geração, a redução, a reutilização e a reciclagem, antecedem ao descarte e aproveitamento energético.

A partir do monitoramento e controle feito através de temperatura e pressão dos reatores observou-se que para a avaliação tanto do desempenho da produção de biogás, quanto para as estimativas de geração energética, conhecer e controlar esses parâmetros são fundamentais.

De acordo com os resultados obtidos pelos estudos realizados, os reatores mostraram atividade microbiana considerável durante 22 dias desde a inoculação. O volume máximo do biogás gerado foi de 300 NmL da Relação I/S:0,5, sendo que R I/S: 1 apresentou uma estabilidade maior sem atingir volumes considerados de biogás. Então podemos concluir que durante os 22 dias de biodigestão a que removeu mais carga orgânica foi que apresentou menor estabilidade no reator, mais produziu uma quantidade maior de biogás.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Fazer a composição gravimetria dos RSU de cada município que compõe o Maciço de Baturité para saber as suas características.
- Avaliar a percepção ambiental da população em relação aos RSU para aprofundar os estudos da influência dos fatores socioeconômicos na geração de resíduos;
- Identificar a relação dos hábitos de consumo e conscientização ambiental no descarte e encaminhamento dos RSU para reciclagem;
- Realização de um maior número de ensaios Bioquímico de Metano dos RSU durante mais dias com relação ao que foi considerado nesse trabalho;
- Pesquisar e estimar gastos economizados de energia com a prática da reciclagem dos resíduos.

REFERÊNCIAS

APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20a ed. Washington, D. C.: AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 2005.

ALVES, I.R.F.S. Análise experimental do potencial de geração de biogás em resíduos sólidos urbanos. Recife. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, 2008.

ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2011. São Paulo – SP: ABRELPE, 2012.

ALMEIDA, G.C. Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos e o Impacto Ambiental, 2010. Trabalho de conclusão de curso (Ciências Biológicas) – Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix.

BLEY, C.J.R. Biogás-Energia Invisível, Segunda edição revista e ampliada, 2014.

CAMPOS, H. K.T. Renda e Evolução da Geração Per Capita de Resíduos Sólidos no Brasil, 2012. *Artigo Técnico: Eng Sanit Ambient*, Brasília, v.17 n.2.

CARNEIRO, P. M. Remoção de BTEX em biorreatores anaeróbios sob condições metanogênicas, desnitrificantes e sulfetogênicas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Fortaleza, 2012.

CEMPRE – Compromisso empresarial para reciclagem. Política Nacional de Resíduos Sólidos: Agora é lei. São Paulo, 2010. Disponível em:<http://www.cempre.org.br/download/pnrs_002.pdf>. Acesso em: 02 de Novembro de 2017.

COSTA, F.M.S, *Compostagem e potencial de uso como fertilizante do lodo de tratamento de efluente de indústria de carne avícola*, 2016. Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

CHERNICHARO, C.A.L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; reatores anaeróbios. 1. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1997. v. 5.

CUNHA, E. R *Avaliação do Processo de Biometanização de Resíduos Sólidos Urbanos em Lisímetro de Campo*, 2009. 25f. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Civil) -Centro de Tecnologia e Geociência, Departamento da Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco.

FEEBURG, A.J. *Diagnóstico sobre a geração de resíduos de serviços de saúde no estado de Pernambuco*, 2007. 21 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de tecnologia e geociências da Universidade Federal de Pernambuco.

FERRAZ, W. J, *Caracterização das formas de destinação final impostas pela política nacional de resíduos sólidos e identificação de seus principais aspectos e potenciais impactos*. Londrina, 10 de Setembro de 2013, 12 f.

FERRARI, G. *Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos no sistema de coleta seletiva solidária em santa cruz do sul – RS*, 2016.

GRIPPI, S. *Lixo: Reciclagem e sua história: Guia para as prefeituras brasileiras*. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

GIMARÃES, D.F.S. *caracterização ambiental do depósito de resíduos sólidos de Iranduba/AM*, XVII COBREAP - Congresso brasileiro de engenharia de avaliações e perícias - IBAPE/SC – 2013.

HENRIQUES, M. R. *Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: Uma Abordagem Tecnológica*, 2004. 6f. Dissertação (Mestrado em ciências e planejamento energético) -Corpo docente da coordenação dos programas de pós-graduação de engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2004.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000*. Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

JACOBI, P.R; BESEN, G. R. *Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade*, 2011. *Revista Estudos Avançados* v. 25 n.71.

KAWATOKO, I. E.S. *Ferramentas de gestão integrada de Resíduos Sólidos Urbanos para os planos municipais de saneamento básico, aplicadas ao estudo de caso de campinas-SP*, 2015. Tese (Doutorado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo.

LEITE, T.M.C, *Entraves espaciais: Brownfields caracterizados por Aterros de resíduos sólidos urbanos desativados no Município de São Paulo/SP*, 2005. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro.

LIMA, N. C. *Análise de tipos e concentrações de inóculos para potencializar a geração de biogás na digestão anaeróbia da fração orgânica dos resíduos sólidos*

domiciliares do bairro planalto Pici, Fortaleza – CE. 2015. 140 f. Tese (Mestrado) - Curso de Eng. Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

MACHADO, M.S.F.A situação brasileira dos resíduos sólidos - Campinas: Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, 2001, 208 p.

MILANEZ, B, *Resíduos sólidos e sustentabilidade: princípios, indicadores e instrumentos de ação*; 2002. N° pp 207. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

MIRANDA, L.H.T.G, Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos: estudo de caso no Município de Itanhaém-SP, 2014. Universidade de São Paulo Escola Politécnica PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

MIRANDA, A.B.; TEIXEIRA, B.A.N. Indicadores para o monitoramento da sustentabilidade em Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário, 2004. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 9, n. 4, p. 269-279

PERREIRA, S. L. M; Características físicas, químicas e microbiológicas de lodo do lodo das lagoas da ETE Gramane, 2011. Dissertação de mestrado apresentado a Universidade Federal da Paraíba para obtenção do Grau de mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental.

PEREIRA, S. S; CURI, RC. Modelos de gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos: a importância dos catadores de materiais recicláveis no processo de gestão ambiental, 2013. *Available from SciELO Books* pp. 149-172. Campina Grande: EDUEPB.

Relatório de Biogás e Biometano do Mercosul / GAHB - Grupo Ad Hoc de Biocombustíveis do Mercosul - Vol. 1, n. 1 (2017) CI Biogás: Foz do Iguaçu, 2017.

REIS, Alexsandro dos Santos. Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio. 2012. 79 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2012.

REZENDE, A.G.O.B, Avaliação do potencial energético e econômico do tratamento, destinação e reutilização de resíduos sólidos urbanos (RSU);2015. N° pp 45. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia). Universidade Federal de São João Del Rei.

RIBEIRO, T F; LIMA, S. C. Coleta seletiva de lixo domiciliar - Estudo de casos. Revista Caminhos de Geografia 1(2)50-69, Dezembro de 2000.

RIBER, C., RODUSHKIN, I., SPLIID, H., et al., 2007, “Method for fractional solid-waste sampling and chemical analysis”, *International Journal of Environmental and Analytical Chemistry*, v. 87, n. 5 (Abril), pp. 321-335.

RUSSO, M. A. T. *Tratamento de resíduos sólidos*. Coimbra, 2003. 47f. - Universidade de Coimbra Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil.

SANTAELLA, T. S. Resíduos Sólidos e a Atual Política Ambiental Brasileira. Fortaleza: UFC / LABOMAR / NAVE, 2014.

SANTIAGO, S. L, Matriz de indicadores de sustentabilidade para a gestão de resíduos sólidos urbanos, 2012. N° pp 204.

SOARES, E.L.F, *Estudo da Caracterização Gravimétrica e Poder Calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos*, 2011. 15.f Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia (Coppe) da Universidade Federal Do Rio De Janeiro. Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos As novas prioridades.

TORRES. L; BAJAY. S, Análise das políticas no aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos no Brasil, 2015. Universidade de São Paulo – USP – São Paulo. 10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural.

Anexo I

Questionário aplicado aos Municípios do Maciço de Baturité

GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS MUNICIPAL

LEVANTAMENTO DE DADOS PARA CARACTERIZAÇÃO

Questionário

Município: _____

Número de Habitantes: _____

PERGUNTAS PRELIMINARES

1. Como são descartados os Resíduos Sólidos (lixo) da Cidade?

2. Quais são os dias e pontos de coleta?

3. Quantos caminhões realizam a coleta urbana?

4. Existe coleta seletiva e/ou reciclagem na cidade? Se sim descreva.

5. A cidade tem algum projeto de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos? Se sim descreva.

6. Quantos funcionários trabalham na coleta e limpeza urbana?

7. Os funcionários usam EPIs? Se sim quais são?

8. A prefeitura é responsável pela limpeza urbana de outros municípios ou distritos?

9. Onde são descartados Resíduos Hospitalares? Existe tratamento especializado para eles? Se sim descreva.

Quanto a dimensão política: está relacionada com a adoção de atos regulatórios/normativos em políticas de gestão de resíduos sólidos uma vez que tais atos ou normas norteiam e definem diretrizes e arranjos institucionais em conformidade com as orientações internacionais e nacionais, em atenção às demandas locais para o gerenciamento de resíduos. Indicadores Propostos por Santiago (2012 apud Dias (2008))

10. A Gestão de Resíduos Sólidos está em consonância com a Política Federal de Saneamento Básico?

11. Está em consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos?

Quanto a dimensão tecnológica: consiste na utilização de tecnologias limpas e apropriadas de processamento de resíduos de acordo com o contexto socioeconômico, cultural e ambiental local. As tecnologias apropriadas devem buscar privilegiar a não produção de mercadorias que não possam retornar ao processo produtivo, o controle na geração, a minimização, o reuso e a reciclagem dos resíduos sólidos. Indicadores Propostos por Santiago (2012) apud Dias (2008))

12. Observa os princípios da tecnologia apropriada na gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos?

Quanto a dimensão econômica/financeira: se caracteriza pela ação preventiva no sentido de evitar as possibilidades de danos ou riscos ambientais. Está relacionada com a fonte, a destinação e a administração correta dos recursos financeiros disponibilizados para a manutenção da GRSU. Indicadores Propostos por Santiago (2012) apud Dias (2008))

13. Quantos por cento da verba municipal é destinada para a gestão dos resíduos sólidos urbanos?

Quanto a dimensão ecológica/ambiental: consiste na limitação do uso dos recursos naturais não renováveis, na preservação da capacidade de autodepuração dos ecossistemas, encaminhamento de rejeitos para os aterros, na minimização da geração, no reaproveitamento, reciclagem e tratamento de resíduos antes da sua disposição final. Indicadores Propostos por Santiago (2012) apud Dias (2008))

14. As atividades de descarte exercem impacto ambiental mínimo?

Quanto a dimensão do conhecimento (educação ambiental e mobilização social): destaca-se por envolver todos os aspectos relacionados à problemática dos resíduos sólidos e por ocupar sempre a posição de base para todos os demais princípios. Envolve também as informações trocadas com a comunidade e a sensibilização dessas pessoas frente aos problemas relacionados à GRSU. Indicadores Propostos por Santiago (2012) apud Dias (2008))

15. Existe consonância com a Política Nacional de Educação Ambiental e Programa Nacional de Educação Ambiental?

16. Contempla um projeto de educação ambiental de forma a promover a autonomia da população?

17. Permite a participação de todos na tomada de decisões sobre a gestão de resíduos sólidos, ou seja, existe controle social conforme proposto pela Política Nacional de Resíduos Sólidos?

Quanto a dimensão da inclusão social: permite a inclusão de alguns atores sociais, a exemplo de catadores de materiais recicláveis, desde que lhes garantam condições dignas de trabalho e de educação, contribuindo, desta forma, para o estímulo à cidadania, à redução da pobreza e geração de emprego. Indicadores Propostos por Santiago (2012) apud Dias (2008))

18. Contempla a inserção de catadores e de artesãos de forma organizada na Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos?

REFERÊNCIA

SANTIAGO, L.S.; DIAS, S.M.F. (2012). **Matriz de indicadores de sustentabilidade para a gestão de resíduos sólidos urbanos**. Artigo Técnico - Indicadores de sustentabilidade para a GRSU. Eng Sanit Ambient | v.17 n.2 | abr/jun 2012.