

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**  
**MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**  
*MODALIDADE PROFISSIONAL*

**GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM MACAÉ – RJ**  
**Utilização do Processo de Incineração como Alternativa para Geração de Energia**

ANNA MARIA FREIRE SIVA

MACAÉ-RJ

2022

ANNA MARIA FREIRE SILVA

**GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM MACAÉ – RJ**  
**Utilização do Processo de Incineração como Alternativa para Geração de Energia**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Orientador: Dr. Hélio Gomes Filho

Co-Orientadora: Dra. Angélica da Cunha dos Santos

MACAÉ-RJ

2022

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586g	<p>Silva, Anna Maria Freire, 1987-. Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos em Macaé - RJ: utilização do processo de incineração como alternativa para geração de energia / Anna Maria Freire Silva. — Macaé, RJ, 2022. xii, 64 f.: il. color.</p> <p>Orientador: Hêlio Gomes Filho, 1958-. Coorientador: Angélica da Cunha dos Santos, 1979-. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Macaé, RJ, 2022. Inclui referências. Área de concentração: Sustentabilidade Regional. Linha de Pesquisa: Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.</p> <p>1. Gestão integrada de resíduos sólidos. 2. Lixo - Eliminação - Aspectos Ambientais. 3. Limpeza urbana - Rio de Janeiro (Estado). 4. Indicadores ambientais - Rio de Janeiro (Estado). 5. Saneamento - Rio de Janeiro (Estado). I. Gomes Filho, Hêlio, 1958-, orient. II. Santos, Angélica da Cunha dos, 1979-, coorient. III. Título.</p>
	CDD 628.445 (23. ed.)

Relatório de Dissertação intitulada **GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM MACAÉ - RJ - Utilização do Processo de Incineração como Alternativa para Geração de Energia** elaborada por **Anna Maria Freire Silva** e apresentado, publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense - IFFluminense, na área concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Aprovado em: 29 de julho de 2022

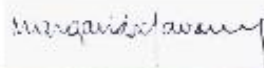
Banca Examinadora:



Hélio Gomes Filho, Doutor Políticas Públicas e Formação Humana / Universidade do Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Orientador



Angélica da Cunha dos Santos, Doutora em Engenharia e Ciências dos Materiais / Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense)



Margarida Maria Mussa Tavares Gomes, Doutor em Urbanismo / Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense)

## AGRADECIMENTOS

Até aqui o Senhor me sustentou. Dessa forma, o primeiro agradecimento não poderia ser diferente, gratidão por todas as maravilhas que realiza em minha vida.

À toda minha família, minha fortaleza e equilíbrio em todos os momentos, sem eles nada sou. Em especial a minha mãe **Elizete Azeredo da Silva**, por todo carinho, incentivo, e amor incondicional em todos os momentos. Em memória ao meu pai, **José do Bonfim Freire Silva**, tenho certeza de que estaria orgulhoso, do caminho que venho trilhando, presente na minha memória e no meu coração em todos os momentos. Também aos meus irmãos **Glaydson** em especial por toda dedicação e ajuda na construção deste trabalho, a minha irmã **Carolina Azeredo** pela ajuda no Inglês e pelos puxões de orelha no português e ao meu irmão **José Junior**, mestre em Biologia.

A todos os meus amigos, que compartilham a vida comigo, sendo minha rede de apoio e lealdade.

A todos os meus amigos de classe que foram fundamentais nessa caminhada, escutando meus desabaços, preocupações e alegrias.

Ao meu orientador, **Dr. Hélio Gomes Filho** pelo zelo e cuidado durante a escrita deste trabalho, sempre disposto a ajudar e compartilhar seus conhecimentos para que este se tornasse realidade. Bem como, a minha co-orientadora **Angélica da Cunha dos Santos** por me apoiar no andamento do processo de desenvolvimento desta pesquisa e a todos os professores que se dispuseram a dividir comigo o conhecimento.

Ao **Instituto Federal Fluminense –IFF** pela oportunidade.

E **todos** que atravessaram meu caminho e dividiram comigo suas experiências, muito obrigada!

**EPÍGRAFE**

“Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção.”

(Paulo Freire)

**LISTA DE FIGURAS**

## ARTIGO CIENTÍFICO 1

<b>Figura 1</b> – Fluxograma Conceitual de Modelo de Gestão de RSU.....	07
<b>Figura 2</b> – Hierarquia do Sistema de Gestão de Resíduos Sólidos.....	11
<b>Figura 3</b> – Esquema de um Aterro Sanitário.....	14
<b>Figura 4</b> – Localização Geográfica do Aterro Sanitário de Macaé.....	16
<b>Figura 5</b> – Fluxograma Geral de um Modelo de Gestão Integrada de Resíduos.....	17

## ARTIGO CIENTÍFICO 2

<b>Figura 1</b> – Plantas WtE Localizadas ao Redor do Mundo.....	53
--	----

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO CIENTÍFICO 1

<b>Tabela 1</b> – Grupos de Classificação de Resíduos Sólidos em Função da Origem.....	12
<b>Tabela 2</b> – Responsabilidade pelo Gerenciamento de Resíduos.....	13
<b>Tabela 3</b> – Critérios para Construção e Operação de um Aterro Sanitário.....	14
<b>Tabela 4</b> – Custo de Implantação de Aterros Sanitários por Etapa - Estimativa.....	15

### ARTIGO CIENTÍFICO 2

<b>Tabela 1</b> – Poder Calorífero de Materiais Encontrados em RSU.....	46
<b>Tabela 2</b> – Geração Mensal dos Resíduos Gerados em Macaé-2012.....	50
<b>Tabela 3</b> – Geração Mensal dos Resíduos Gerados em Macaé-2011.....	50
<b>Tabela 4</b> – Caracterização quantitativa e distribuição em Macaé-2011.....	50
<b>Tabela 5</b> – Resíduos Recebidos por Região do Estado do Rio de Janeiro por Tipo.....	51
<b>Tabela 6</b> – Resíduos Gerados e Recebidos por Região do Estado do Rio de Janeiro por Tipo	52



## GRÁFICOS

### ARTIGO CIENTÍFICO 1

<b>Gráfico 1</b> – Projeção População de Macaé – PGRS.....	22
<b>Gráfico 2</b> – Programa Recicle Seu Óleo.....	24
<b>Gráfico 3</b> – Programa Coleta de Resíduos Eletrônicos.....	24
<b>Gráfico 4</b> – Programa Coleta e Destinação de Pneus – Quantidade Coletada.....	25

### ARTIGO CIENTÍFICO 2

<b>Gráfico 1</b> – Projeção População de Macaé – PGRS.....	37
<b>Gráfico 2</b> – Resíduos Municipais Incinerados em 28 estados Membros da EU em 2012.....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PNRS - Política Nacional dos Resíduos Sólidos

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IFFluminense – Instituto Federal Fluminense.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

I<sub>RH</sub>- Índice de Recursos Hídricos

IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal.

UTM - Universal Transverse Mercator

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos.

PET – Poli Tereftalato de Etila

## **GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM MACAÉ – RJ**

### **Utilização do Processo de Incineração como Alternativa para Geração de Energia**

#### **RESUMO**

As atividades comerciais, econômicas e industriais desenvolvidas no município de Macaé-RJ requerem a aplicação de uma gestão eficaz e sustentável dos resíduos sólidos urbanos produzidos. O esgotamento dos recursos naturais, problemas socioambientais e econômicos relacionados à disposição final dos resíduos justifica a aplicação de uma gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos (RSU), uma vez que a inexistência ou ineficácia desses serviços causam impactos negativos nas condições de vida da população. Este trabalho de pesquisa foi desenvolvido em dois artigos, onde o primeiro teve como objetivo realizar um levantamento de informações sobre a forma como é realizada a gestão dos resíduos sólidos urbanos no Município de Macaé/RJ para se obter um diagnóstico ambiental atual, tendo como premissas a Política Nacional de Resíduos Sólidos/2010 (PNRS), o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) e o Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos de Macaé/2012 (PMRS). O segundo artigo propõe abordar as principais tecnologias de gestão de resíduo e analisar a possibilidade de implantação de uma usina de tratamento térmico no município de Macaé/RJ como alternativa para a gestão integrada de RSU. Em termos metodológicos, uma investigação descritiva e exploratória foi conduzida por meio da análise de artigos publicados nos indexadores Periódico CAPES, Google Acadêmico, além de consultas à documentos públicos e visitas realizadas às Secretarias do Município de Macaé. Adicionalmente foram realizadas visitas as secretarias de Ambiente e Sustentabilidade, Serviços Públicos e de Limpeza do Município de Macaé. Não foi possível obter, nem identificar dados sobre a gestão de utilização do aterro sanitário do município com as visitas realizadas às Secretarias, bem como dados disponibilizados no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). A partir do exposto foram realizadas análises qualitativas sobre indicações de utilização do processo de incineração como tratamento de resíduos sólidos para redução do volume de envio dos mesmos ao aterro sanitário e possível geração de energia sendo apresentados resultados significativos da utilização deste tipo de tratamento ao redor do mundo principalmente na União-Europeia, Estados Unidos e Japão. De acordo com os resultados foi possível apresentar conclusões relacionadas aos critérios de quantidade gerada de rejeitos, características dos rejeitos, aceitação social, mercado consumidor de energia, investimentos e localização e disponibilidade de área para o município de Macaé-RJ.

**Palavras-chave:** Reaproveitamento Energético. Vida Útil. Incineração

## INTEGRATED URBAN SOLID WASTE MANAGEMENT OF MACAÉ – RJ

### *Use of the Incineration Process as an Alternative for Power Generations*

#### **ABSTRACT**

*The commercial, economic and industrial activities carried out in the municipality of Macaé-RJ require the application of an effective and sustainable management of urban solid waste produced. The depletion of natural resources, socio-environmental and economic problems related to the final disposal of waste justifies the application of an integrated management of urban solid waste (MSW), since the inexistence or ineffectiveness of these services causes negative impacts on the population's living conditions. This research work was developed in two articles, where the first one aimed to carry out a survey of information about the way in which the management of urban solid waste is carried out in the Municipality of Macaé/RJ to obtain a current environmental diagnosis, having as premises the National Solid Waste Policy/2010 (PNRS), the Municipal Basic Sanitation Plan (PMSB) and the Macaé Municipal Waste Management Plan/2012 (PMRS). The second article proposes to address the main waste management technologies and analyze the possibility of implementing a heat treatment plant in the city of Macaé/RJ as an alternative for the integrated management of MSW. In methodological terms, a descriptive and exploratory investigation was conducted through the analysis of articles published in the indexers Periodical CAPES, Google Scholar, in addition to consultations with public documents and visits to the Secretariats of the Municipality of Macaé. Additionally, visits were made to the secretariats of Environment and Sustainability, Public Services and Cleaning of the Municipality of Macaé. It was not possible to obtain or identify data on the management of the use of the municipal sanitary landfill with the visits made to the Secretariats, as well as data made available in the National Sanitation Information System (SNIS). From the above, qualitative analyzes were carried out on indications for the use of the incineration process as a treatment of solid waste to reduce the volume of sending them to the sanitary landfill and possible generation of energy, presenting significant results of the use of this type of treatment around the world mainly in the European Union, the United States and Japan. According to the results, it was possible to present conclusions related to the criteria of generated amount of tailings, tailings characteristics, social acceptance, energy consumer market, investments and location and availability of area for the municipality of Macaé-RJ.*

**Keywords:** *Energy Reuse. Public Administration. Discard*

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE GRÁFICOS.....	vii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	viii
RESUMO.....	xi
<i>ABSTRACT</i> .....	x
APRESENTAÇÃO .....	01
<b>ARTIGO CIENTÍFICO 1: GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE MACAÉ – RJ – Pesquisa sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos na prática e a Gestão Realizada pelo Município.....</b>	<b>03</b>
1. INTRODUÇÃO.....	05
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	06
2.1. A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) .....	06
2.1.1. <i>Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PMGRS) do Município de Macaé.....</i>	<i>08</i>
2.1.2. <i>Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do Município de Macaé.....</i>	<i>09</i>
2.2. A Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos.....	10
2.2.1. <i>Coleta Diferenciada.....</i>	<i>11</i>
2.2.2. <i>Coleta Seletiva.....</i>	<i>13</i>
2.2.3. <i>Aterro Sanitário.....</i>	<i>13</i>
2.3. Modelo Conceitual de Gestão Integrada de Resíduos.....	17
2.3.1. <i>Educação Ambiental.....</i>	<i>18</i>
2.4. Ações e Projetos Implantados pela Prefeitura de Macaé.....	19
2.4.1. <i>Projeto Coleta Seletiva de Lixo.....</i>	<i>19</i>
2.4.2. <i>Projeto Recicle Seu Óleo.....</i>	<i>20</i>
2.4.3. <i>Tratamento de Resíduos Hospitalares.....</i>	<i>21</i>
3. METODOLOGIA.....	21
4. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	21
4.1. Diagnóstico da Gestão de RSU no Município de Macaé e Programas Municipais de Coleta e Destinação de Resíduos.....	21

4.1.1. <i>Programas Municipais de Coleta e Destinação de Resíduos</i> .....	23
5. CONCLUSÃO.....	26
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28
<b>ARTIGO CIENTÍFICO 2: GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE MACAÉ – RJ – Utilização do Processo de Incineração para Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)</b> .....	34
1. INTRODUÇÃO.....	36
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	38
2.1. Aproveitamento Energético dos RSU.....	38
2.1.1. <i>Fontes de Energia e Reaproveitamento</i> .....	38
2.1.2. <i>Disposição e Tratamento dos RSU</i> .....	39
2.1.3. <i>Tratamentos Térmicos de RSU</i> .....	40
2.1.3.1 Combustível Derivado de Resíduos.....	41
2.1.3.2 Gaseificação.....	41
2.1.3.3 Pirólise.....	42
2.1.3.4 Arco de Plasma.....	42
2.1.3.5 Incineração.....	42
2.1.4. <i>Contexto Mundial e Nacional de Utilização de Incineração no Processo de Tratamento de RSU</i> .....	43
2.1.5. <i>Potencial de Geração de Energia dos RSU</i> .....	45
3. METODOLOGIA.....	47
4. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	48
4.1. A Utilização de Incineração de Resíduos Sólidos no Brasil.....	48
4.2. O Município de Macaé – Tratamento e Destinação Final de RSU.....	49
4.3 A Incineração como Proposta Auxiliar para Tratamento de RSU no Município de Macaé e Geração de Energia.....	52
5. CONCLUSÃO.....	56
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57

## APRESENTAÇÃO

A Lei nº 12.305/10, a qual instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), apresenta um grande desafio a partir de suas diretrizes que devem ser seguidas, por produtores, consumidores e governos municipais, estaduais e federais. A Lei apresenta em seu texto a indicação de responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos, como exemplo, os fabricantes, importadores, distribuidores, consumidores, serviços públicos e responsáveis pelo manejo de resíduos sólidos, sendo todos apresentados como “responsáveis, ao longo do ciclo de vida dos produtos, desde a sua origem ao final” (BRASIL, 2010). Sancionada em 2 de agosto de 2010, a PNRS indicava o prazo de quatro anos para que as cidades se adequassem à Política Nacional de Resíduos, ou seja, deveriam estar em prática em 2014. Entretanto, uma emenda em plenário apresentada estabeleceu prazos escalonados de acordo com o município. De acordo com reportagem apresentada pela USP (2020), em seu jornal, a principal mudança feita pelo novo marco em relação ao descarte do lixo é: capitais e regiões metropolitanas têm até 2 de agosto de 2021, enquanto cidades com mais de 100 mil habitantes têm até agosto de 2022 como prazo final. Cidades entre 50 e 100 mil habitantes têm até 2023 para eliminar o problema e municípios com menos de 50 mil habitantes têm até 2024.

A PNRS apresenta como indicação, o término de utilização dos lixões (aterros desordenados), e o envio dos rejeitos (restos dos resíduos não reaproveitados) para os aterros sanitários controlados. Considerando assim que, para que exista um sistema sustentável, cada município deve ponderar as características locais e a adequação da gestão de resíduos sólidos vinculadas à sua realidade.

O Brasil baseou-se em gerenciamento de resíduos relacionada a metodologias e tecnologias já aplicadas em outros países com indicações de sucesso, sendo considerados aspectos econômicos, sociais e ambientais do país. Fica claro que as empresas devem compreender que a ordem de prioridade definida na PNRS influencia a economia dos recursos naturais, pois a partir da redução de geração e reaproveitamento dos resíduos não é preciso extrair tanto da natureza contribuindo assim para a preservação do meio ambiente. A ordem a ser considerada e apresentada na Lei nº 12.305/10 é indicada como não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição. Pode-se, a partir de correlação, ser comentada a Educação Ambiental como prática educativa que indica em seu objetivo a formação de cidadãos conscientes e responsáveis com questões socioambientais e com posicionamentos (individuais e coletivos) a partir da problemática dos resíduos. A educação ambiental apresenta o aprofundamento de assuntos como consumo, geração, descarte seletivo e disposição dos resíduos.

A coleta, o manejo e a disposição final dos RSU é de responsabilidade do município. Esta, responsabilidade pode ser verificada no Art. 26 da Lei nº 12.305/10:

O titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos é responsável pela organização e prestação direta ou indireta desses serviços, observados o respectivo plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, a Lei nº 11.445, de 2007, e as disposições desta Lei e seu regulamento (BRASIL, 2010).

Logo, a criação e atualização do Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PMGRS), de acordo com o que se apresenta na lei é necessário para realizar o atendimento ao Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Cabe ressaltar que a elaboração deste plano se relaciona diretamente com a disponibilidade de recursos apresentados pela União. Neste contexto o município de Macaé elaborou seu PMGRS em 2012 e apresentou o documento preliminar para revisão e atualização em janeiro de 2021.

Outro ponto relacionado à responsabilidade do município, é a educação ambiental e o desafio da gestão pública no Brasil a partir de priorização de ações emergenciais. Existindo neste ponto uma defasagem no país em relação a eficácia dos processos, em algumas vezes prejudicadas por burocracias excessivas, lentidão nas etapas e falta de capacitação específica aos profissionais para atendimento às demandas.

Esta Dissertação é composta de dois artigos de comunicação científica, conforme normatização do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do IFFluminense para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental. O objetivo do Artigo 1 foi investigar como é realizada a gestão de resíduos sólidos urbanos no Município de Macaé- RJ atualmente, tendo como base de pesquisa a Política Nacional de Resíduos Sólidos/2010 e o Plano Municipal de Resíduos de Macaé/2012. A partir do levantamento dessas informações, o Artigo 2 aborda as principais tecnologias de gestão de resíduo e a análise de possibilidade de implantação de usina de incineração como sugestão para a redução do volume de RSU a menor fração possível, com potencial de reaproveitamento energético, dispondo apenas os rejeitos tendo como foco o cumprimento da PNRS.



## **ARTIGO CIENTÍFICO 1**

### **GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE MACAÉ – RJ**

#### **Pesquisa sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos na prática e a Gestão Realizada pelo Município**

#### **RESUMO**

A produção de resíduos sólidos nos centros urbanos tem aumentado, sendo um exemplo o município de Macaé-RJ, com o crescimento de suas atividades comerciais, econômicas e industriais é um exemplo deste aumento. Hoje, no município de Macaé – RJ o principal destino dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é o aterro sanitário. sendo observado que o município possui dois aterros sanitários construídos (um desativado e um em utilização) sendo apresentada a necessidade de construção de um terceiro aterro sanitário. O objetivo desta pesquisa foi realizar a verificação dos métodos de processo de Gestão dos Resíduos realizados pelo município de Macaé-RJ. A metodologia utilizada foi a investigação descritiva e exploratória conduzida por meio da análise de artigos publicados nos indexadores Periódico CAPES, Google Acadêmico, consultas a Política Nacional de Resíduos Sólidos/2010 (PNRS), Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), ao Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos de Macaé/2012 (PMRS) e ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). De acordo com os resultados obtidos foi possível verificar que apesar do município possuir o PMRS e realizar algumas ações voltadas à área de Gestão dos Resíduos, ainda é insipiente, visto que há inúmeros pontos da PNRS que não são abordados no plano, há não-conformidades operacionais e técnicas, não há uma periodicidade de revisão no documento desde a sua implantação em 2012, não há previsão para a implantação do PMSB, sendo indicada para consulta apenas uma versão preliminar de janeiro de 2021. Não foi possível obter, nem identificar dados sobre a gestão de utilização do aterro sanitário do município com as visitas realizadas às Secretarias. Ao longo da pesquisa, percebe-se que há a necessidade de aplicação de uma gestão integrada de RSU no Município de Macaé, que atenda de forma integral e sem inconsistências à Lei 12.305/2010, a partir da tendência de continuidade desse sistema e o aumento de utilização dos aterros sanitários ao longo dos anos devido ao grande volume de resíduos produzidos.

**Palavras-chave:** Aterro Sanitário. Gestão de Resíduo. Resíduos Sólidos Urbanos

## *INTEGRATED URBAN SOLID WASTE MANAGEMENT OF MACAÉ – RJ*

*Research on the National Solid Waste Policy in Practice and the Management Carried Out by The Municipality*

### **ABSTRACT**

*The production of solid waste in urban centers has increased, being an example the city of Macaé-RJ, with the growth of its commercial, economic and industrial activities is an example of this increase. Today, in the municipality of Macaé - RJ, the main destination of urban solid waste (MSW) is the sanitary landfill. being observed that the municipality has two sanitary landfills built (one deactivated and one in use) and the need to build a third sanitary landfill is presented. The objective of this research was to verify the methods of the Waste Management process carried out by the municipality of Macaé-RJ; The methodology used was descriptive and exploratory research, which was conducted through the analysis of articles published in the indexes Periodical CAPES, Google Scholar, consultations with the National Solid Waste Policy/2010 (PNRS), Municipal Basic Sanitation Plan (PMSB), at the Macaé Municipal Waste Management Plan/2012 (PMRS) and the National Sanitation Information System (SNIS). According to the results obtained, it was possible to verify that despite the municipality having the PMRS and carrying out some actions aimed at the area of Waste Management, it is still incipient, since there are numerous points of the PNRS that are not addressed in the plan, there are non-conformities operational and technical aspects, there is no periodicity for reviewing the document since its implementation in 2012, there is no forecast for the implementation of the PMSB, and only a preliminary version of January 2021 is indicated for consultation. It was not possible to obtain or identify data on the management of the use of the municipal sanitary landfill with visits to the Secretariats. Throughout the research, it is perceived that there is a need to apply an integrated management of MSW in the Municipality of Macaé, which fully and without inconsistencies comply with Law 12.305/2010, based on the trend of continuity of this system and the increase use of sanitary landfills over the years due to the large volume of waste produced.*

**Keywords:** *Sanitary Landfill. Waste Management. Urban solid waste*

## 1. INTRODUÇÃO

O consumo excessivo de bens com menor durabilidade associadas às práticas de descarte ineficientes estabelecidas estimula o esgotamento dos recursos naturais e um aumento do volume Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) produzidos. De acordo com Sachs (2008), a utilização de recursos naturais visa atender às necessidades da sociedade, com o compromisso de manter o atendimento das gerações futuras. Para o autor é necessário haver uma mudança no gerenciamento dos gestores responsáveis a partir de um desenvolvimento socioeconômico em consonância com o ambiental e o organizacional.

Ressalta-se que a indicação do consumo e o descarte elevado de grande quantidade de materiais relaciona-se ao gerenciamento da limpeza urbana como fator agravante e com grandes incertezas nas cidades brasileiras. Os descartes inadequados dos resíduos sólidos aliados a questões não solucionadas de tratamento destes, apresenta problemas relacionados a contaminação ambiental e a grande possibilidade de proliferação de vetores de doenças. Destacam-se também os desperdícios de material e de energia já que uma grande parte dos resíduos poderiam sofrer reaproveitamento, indicando-se assim geração de renda.

Os resíduos sólidos urbanos apresentam-se como um problema ambiental mundial, o qual preocupa os gestores públicos forçando-os a buscar soluções tanto para países desenvolvidos quanto para países ainda em desenvolvimento (NASCIMENTO, 2013). De acordo com Souza (2014), atualmente as organizações responsáveis pela produção podem sofrer pressões sociais por não adotarem, em suas políticas internas, uma postura ambientalmente responsável, sendo estas refletidas a partir de leis ambientais, incentivando a inovação e a transparência, alargando toda economia que conduzirá o progresso rumo à sustentabilidade, podendo assim criar um equilíbrio.

Nos últimos anos, o crescimento da geração de RSU acarretam preocupação aos órgãos públicos responsáveis em relação ao o tratamento e a destinação final dos rejeitos, intensificando-se após a regulamentação da Lei 12.305 da política nacional dos resíduos sólidos (PNRS), em 02 de agosto de 2010, regulamentada pelo Decreto nº. 7.404/2010 (SOUZA, 2014). A lei exige que cada município elabore e implemente um Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PMGRS). A cidade de Macaé é um município do Estado do Rio de Janeiro, situado a 180 quilômetros a nordeste da capital do Estado. Sua população era de 266.136 habitantes em 2021 (IBGE, 2021). Possui uma área total de 1216 km<sup>2</sup>.

A pesquisa mostra um diagnóstico ambiental atual do município de Macaé em questão, com base nas determinações previstas na PNRS 12.305/10, considerando também o Plano de Saneamento Básico do Município na versão preliminar para consulta pública de janeiro de 2021, contribuindo

para uma gestão integrada de resíduos sólidos urbanos, economia de recursos naturais e o desenvolvimento sustentável. Ignácio, Lima e Sampaio (2014, p.12) apresentam dados, a partir de cálculos de projeção realizados por modelo obtido para equação linear, onde é relacionado o crescimento populacional de Macaé bem como a de geração de resíduos sendo apresentado grande aumento para os próximos anos. Ratifica-se, a partir de dados apresentados pelos mesmos autores, a relevância de realização da pesquisa apresentada.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**

A PNRS conforme Lei nº 12.305/2010 define gestão integrada de resíduos sólidos: como “[...] o conjunto de ações voltadas para solucionar o problema dos resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável [...]” (BRASIL, 2010).

Baptista (2014) indica que o trecho da lei exposto apresenta importante ponto relacionado a multidimensionalidade e mostra a necessidade de integração não só de como devemos entender os resíduos sólidos, mas também a necessidade de correlacionar o conhecimento sobre os conceitos fundamentais de resíduos sólidos com os tipos de tratamentos adequados para cada um deles.

De acordo com a PNRS (Brasil, 2010), a responsabilidade pelo ciclo de vida completo dos produtos, cabe aos fabricantes, importadores, distribuidores, e comerciantes, a qual deve ser implementada de forma individual, encadeada e contínua. Cabe ressaltar e ratificar que estes atores são obrigados a estruturar e implementar processos e sistemas logísticos a fim de garantir o retorno dos produtos após os mesmos serem utilizados pelo consumidor, não cabendo somente ao serviço público a destinação final dos RSU.

Os municípios e estados, responsáveis pela implantação da PNRS, utilizam diferentes tecnologias, políticas e processos para controlar e realizar a gestão dos impactos relacionados aos seus resíduos e verificar possíveis formas de reutilização. Esta combinação de métodos denominamos gestão de resíduos, pode ser dividida em elementos funcionais que indicam as diferentes partes de gerenciamento, englobando a geração, tratamento, coleta, transporte, processamento e transformação, e disposição final. Ratifica-se que todo o processo deve ser de acordo com a legislação, com os aspectos sociais de proteção ao meio ambiente e à saúde pública e relacionando os mesmos aos recursos financeiros disponíveis (TCHOBANOGLOUS; KREITH, 2002).

Destaca-se a indicação de duas estruturas com a finalidade de orientação e auxílio às decisões de gestão de resíduos sendo estas a hierarquia dos resíduos e a gestão integrada de resíduos (WHITE; FRANKE; HINDLE; 1999). A primeira apresenta as etapas: redução de resíduos, reutilização, reciclagem, recuperação de energia, e deposição final em aterro (WILLIAMS, 2005). Já a gestão integrada de resíduos apresenta abordagem diferente, sendo indicado um conjunto de princípios de gerenciamento ambientalmente e economicamente adequados, de forma sustentável e socialmente aceitável (TCHOBANOGLOUS, KREITH, 2002; WHITE, FRANKE, HINDLE, 1999).

De acordo com apresentado em UN-HABITAT (2010) foram realizadas importações de soluções para o tratamento de RSU de países industrializados para países menos industrializados, acarretando assim falhas, pois os estudos indicam que os sistemas de gestão de resíduos (ainda em desenvolvimento) do mundo foram cópias incompletas de um sistema indicado como ideal (operando em países desenvolvidos).

A partir do exposto, a Figura 1 apresenta um modelo de gestão de resíduos, o qual é utilizado como indicação para agrupamento dos principais processos.

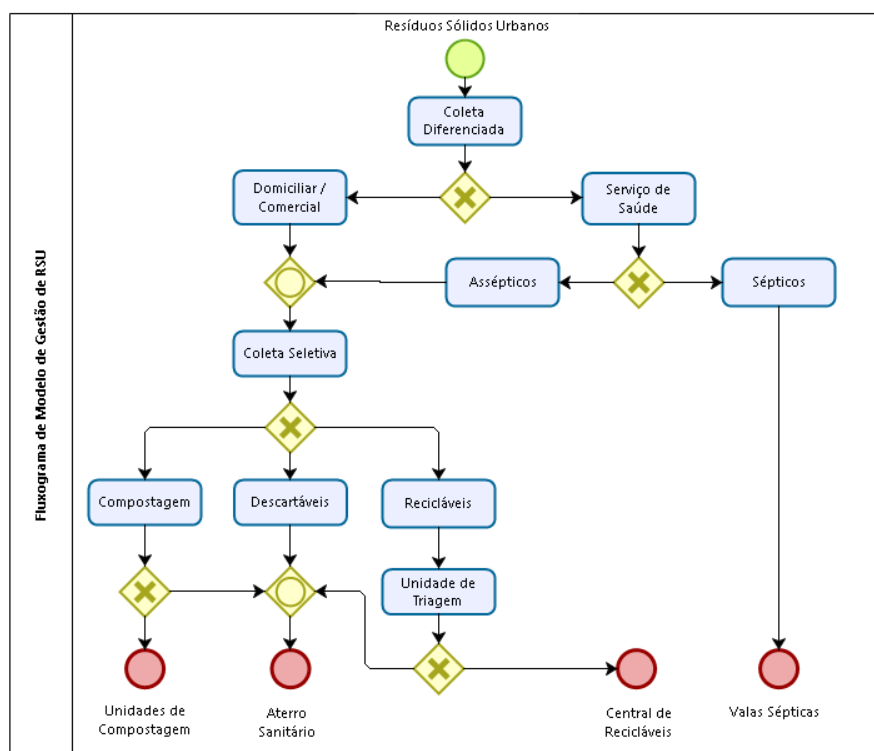


Figura 1 – Fluxograma Conceitual de Modelo de Gestão de RSU

Fonte: Elaborado pela Autora

Podemos observar na figura 1 os agrupamentos distintos sendo a) *Coleta Diferenciada* (início do processo) sendo apresentado para este os itens de Serviço de Saúde (gerados por estabelecimentos

hospitalares) e Domiciliar/Comercial (gerados por centros urbanos); b) *Coleta Seletiva* (realizada pelo gerador) apresentando-se para este item a Compostagem (processo controlado de decomposição), Descartáveis (resíduos não aproveitados) e Recicláveis (resíduos indicados para reutilização) e por fim c) *Descarte ou Envio a Disposição Final* sendo estes os resíduos não aproveitados na coleta seletiva ou não aproveitados nas usinas de reciclagem.

### *2.1.1 – Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PMGRS) do Município de Macaé*

Conforme descrito nas determinações previstas na PNRS 12.305/10 deve ser apresentado, por cada órgão responsável, o Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. O município de Macaé apresentou seu plano em 2012 e até julho de 2017 não tinha sofrido revisões (PINTO & NASCIMENTO, 2018). O referido plano foi indicado em janeiro de 2021 para realização de sua nova revisão.

O PMGRS (2012) do município de Macaé apresenta no decorrer do documento tópicos que atendem as indicações apresentadas na Lei 12.305/10 em seu artigo 19. Estas indicações são requeridas como mínimas na elaboração de um PGMRS.

O município de Macaé (2011) apresenta em sua lei orgânica a indicação de responsabilidade relacionada a realização de limpeza pública. De acordo com Macaé (2011) Art. 10, “ficam expressamente vedados no território municipal o armazenamento e a eliminação inadequada de resíduos domésticos, industriais, hospitalares, tóxicos ou de risco”. Correa e Silva (2015) afirmam que referente à responsabilidade de criação e gestão da coleta seletiva de lixo cabe ao setor municipal vigente pelo setor municipal vigente e afirmam que:

“Posteriormente, foi publicada no município a Lei Complementar no 027/2001, que dispõe sobre o código municipal de meio ambiente, no qual fica instituído que o município deve implantar sistema adequado de coleta, tratamento e destinação dos resíduos sólidos urbanos, incluindo coleta seletiva, segregação, reciclagem, compostagem e outras técnicas que promovam a redução do volume total dos resíduos sólidos gerados”.

De acordo com o PMGRS (2012) o documento “foi criado por uma equipe multidisciplinar a partir de levantamentos realizados em campo e também considerou os estudos e programas já desenvolvidos no município”. O conteúdo do documento relaciona indicações de realização de análises e demandas relacionadas ao tratamento de RSU gerados pelo município com o intuito de apresentar estratégias para possíveis ações e serviços a serem prestados em atendimento ao PNRS. No referido documento é apresentada a indicação da proposta:

Dentro deste enfoque o município de Macaé propôs a elaboração do PMGRS com o objetivo de estabelecer ações integradas e diretrizes quanto aos aspectos ambientais, sociais, econômicos, legais, administrativos e técnicos, para todas as fases da geração e dos geradores de resíduos sólidos através do Grupo de Trabalho formado por órgãos da Administração Pública (Secretaria Municipal de Ambiente, Secretaria Municipal de Limpeza Pública e Secretaria Municipal de Saúde). (MACAÉ, 2012).

Conforme indicado pela PNRS cada município deve criar seu PMGRS e este plano deve indicar um diagnóstico da realidade do município relacionado ao tratamento de RSU. Macaé (2012) indica que “o Plano Municipal de Resíduos Sólidos visa atender a Lei Federal n.º11.445, de 5 de janeiro de 2007, bem como a Lei n.º 12.305/10. No plano está previsto o manejo dos resíduos sólidos realizados de forma adequada à saúde pública e à proteção do meio ambiente; a articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras de relevante interesse social, voltadas para a melhoria da qualidade de vida, para as quais o saneamento básico seja fator determinante”.

### *2.1.2 – Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do Município de Macaé*

O estudo realizado pelo Consórcio (2019) apresenta as diretrizes gerais adotadas para a elaboração dos objetivos e metas referentes aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário do município de Macaé. Estes utilizaram como base fundamental a Lei n.º 11.445/2007 a qual estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. O PMSB do município de Macaé foi amparado pelos pontos: a) Diagnóstico das condições do saneamento do município, b) leis, decretos, resoluções e deliberações referentes aos recursos hídricos e c) os planos setoriais sob responsabilidade municipal, estadual e federal.

A Lei n.º 11.445/2007 indica objetivos específicos, onde podem ser destacados: i) garantir à população o acesso à água de forma a atender os padrões de potabilidade vigentes ofertando um serviço de qualidade e regularidade, ii) fomentar a adequação das infraestruturas dos sistemas para que estejam aptos a atender as necessidades apresentadas, iii) adequar os serviços prestados às legislações ambientais vigentes, iv) viabilizar a sustentabilidade econômico-financeira do serviço de abastecimento de água e v) conscientizar a população sobre a sustentabilidade ambiental e uso racional dos recursos hídricos.

O PMSB do município de Macaé apresenta no decorrer do documento as indicações para atendimento às necessidades, destacando-se os pontos de a) Diagnósticos Situacionais, Diretrizes,

Objetivos e Metas (PMSB, 2021, p.24), b) Abastecimento de Água Potável – Diagnóstico, Programas, Projeções e Ações (PMSB, 2021, p.34), c) Esgotamento Sanitário – Diagnóstico, Programas, Projeções e Ações (PMSB, 2021, p.47) e d) Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos (PMSB, 2021, p.73)

## 2.2. A Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos

A PNRS apresenta definições específicas no Capítulo II da Lei sobre o gerenciamento e gestão integrada, sendo os mesmos:

X - Gerenciamento de resíduos sólidos: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei;

XI - Gestão integrada de resíduos sólidos: conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010).

De acordo com informações da Secretaria de Ambiente e Sustentabilidade de Macaé (Sema) esta tem entre seus principais objetivos disseminar entre a população a consciência da necessidade diária da preservação do meio ambiente, orientando em todas as formas a busca de desenvolvimento sustentável da cidade, estado e país. A prefeitura de Macaé indica que é realizada a capacitação e qualificação de sua população através de projetos e atividades relacionadas a preservação do meio ambiente. Apresenta-se como missão da Sema:

[...] “apoiar o exercício da cidadania na elaboração e execução de políticas públicas, por meio da participação dos cidadãos na gestão dos recursos ambientais e nas decisões que afetam a qualidade do meio ambiente” [...] e como propósitos “criar condições para a participação social de forma permanente, responsável e politizada nos processos de decisão sobre o acesso e uso dos recursos ambientais; realizar processos educativos com grupos sociais diretamente afetados pelas atividades de gestão ambiental, para que possam exercer o controle social da qualidade do ambiente no qual estão inseridos, como unidades de conservação, obras de saneamento e dragagem e no processo de licenciamento ambiental”. (MACAÉ, online 2020)

Lima (2002), destaca a gestão de resíduos sólidos como uma atividade abrangente relacionada diretamente à tomada de decisões estratégicas, onde são indicados os aspectos institucionais, administrativos, operacionais, financeiros e ambientais, ou seja, indica a necessidade de organização envolvendo instrumentos políticos e meios. Heimlich *et al* (2002 apud REIS, 2006)



apresentam em suas conclusões que a estratégia usada para desenvolver um sistema de gestão de Resíduos Sólidos passa pela identificação dos níveis de valores individuais e coletivos da sociedade. Por este motivo, o processo deve começar na redução do consumo, na indicação do reuso, reciclagem ou compostagem, incineração e disposição final (adequada) em aterros sanitários, conforme apresentado na Figura 2.



Figura 2 – Hierarquia do Sistema de Gestão dos Resíduos Sólidos

Fonte: Heimlich *et al* (2002 apud REIS, 2006)

Ratifica-se a indicação que para gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2020).

Destaca-se neste ponto, que a partir da separação em sua origem (lixo orgânico e lixo seco), ou seja, em sua fonte geradora e a partir de coleta separadas e indicadas como corretas, será sempre possível garantir um aumento no índice de materiais recicláveis e compostáveis. Estes processos irão possibilitar ao final, produtos (composto orgânico, metais, plásticos, papel, papelões, dentre outros) de maior qualidade e melhor aceitação no mercado de recicláveis.

### 2.2.1 – Coleta Diferenciada

Consideramos o sistema de coleta diferenciada, sendo qualquer origem do resíduo (domiciliar, serviço de saúde, industrial, dentre outros) e a indicação de que o sistema estabelece como sua principal meta a coleta segregada, ou seja, ocorrerá a separação por tipo de material na origem (fonte geradora). Cabe ressaltar que a coleta diferenciada, também denominada como coleta segregada, pode indicar um aumento dos valores de execução deste tipo de serviço, pois os resíduos não serão mais coletados juntos, tendo como princípio a motivação de utilização de outros veículos de coleta pelo mesmo roteiro de passagem dos demais veículos já utilizados. No entanto, as

vantagens são relacionadas ao maior potencial de reaproveitamento e reciclagem dos materiais que são coletados.

A PNRS (2010) apresenta os conceitos relacionados ao gerenciamento, gestão de resíduos, responsabilidade compartilhada e as próprias fontes dos resíduos. A Tabela 1 apresenta a classificação dos resíduos sólidos em função de suas origens.

Tabela 1 – Grupos de Classificação de resíduos sólidos em função da origem

CLASSIFICAÇÃO	FONTES GERADORAS	EXEMPLOS
Domiciliar	Atividades domésticas em residências, escolas, edifícios, escolas	Sobra de alimentos, embalagens diversas, papel higiênico, fraldas, e outros produtos pós-consumo, entre outros
Limpeza urbana	Varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana	Folhas, galhos, terra, areia, entulho, rejeitos.
Comercial	Comércio e bares restaurantes	Sobras de alimentos, embalagens, papel e papelão
Serviço público de saneamento básico	Dragagem e limpeza de fossa	Lodo, borras, areia, sedimento
Industrial	Processos produtivos e instalações industriais	Resíduos perigosos e não perigosos
Serviços de saúde	Qualquer unidade que execute atividades de natureza médico-assistencial humana ou animal; os provenientes de centros de pesquisa, desenvolvimento ou experimentação na área de farmacologia e saúde; os provenientes de necrotérios, funerárias e serviços de medicina legal; e os provenientes de barreiras sanitárias	Peças anatomopatológicas, hemoderivados, medicamentos e imunoterápicos vencidos ou deteriorados, entre outros
Construção civil	Construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis	Tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras, compensados, forros e argamassas, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações e fiação elétrica, comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha
Agrossilvopastoris	Atividades agropecuárias e silviculturas, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades	Embalagens de agrotóxicos, pneus, óleos usados, embalagens de medicamentos veterinários, entre outros.
Serviços de transportes	Portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de <i>fronteir</i>	Resíduos de qualquer natureza, provenientes de embarcação, aeronave ou meios de transporte terrestre, incluindo os produzidos nas atividades de operação e manutenção, os associados às cargas e aqueles

		gerados nas instalações físicas
Mineração	Atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios	Rejeitos

Fonte: Adaptado de BRASIL (2001).

### 2.2.2 – Coleta Seletiva

Podemos entender como objetivo da coleta seletiva a redução do volume de lixo a fim de possibilitar ganhos ambientais, sendo estes pontuados como investimento no meio ambiente e na qualidade de vida.

Conforme apresentado pelo CEMPRE (2011), a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em sua Norma Técnica NBR13463:1995, classifica diferentes tipos e define as atividades de coleta sendo apresentados como: coleta domiciliar, coleta hospitalar externa e coleta seletiva. Observa-se que a Coleta Seletiva é um dos itens classificados nos diferentes tipos de coleta. Mota (2002), indica como um dos principais problemas da gestão e destinação dos resíduos. Ressalta-se que existem responsabilidades indicadas ao poder público Federal, Estadual e/ou Municipal quanto a implantação de diretrizes relacionadas a acomodação e destinação final dos resíduos como também a apresentação de meios eficazes de fiscalização para os itens de responsabilidade de outros atores. A partir das considerações, a Tabela 2 apresenta, de forma resumida, a responsabilidade no gerenciamento dos resíduos sólidos a partir de sua origem, segundo o CEMPRE (2011).

Tabela 2 – Responsabilidade pelo gerenciamento do resíduo.

ORIGEM DO RESÍDUO	RESPONSÁVEL
<b>Domiciliar</b>	Prefeitura
<b>Público</b>	Prefeitura
<b>Serviços de Saúde</b>	Gerador (hospitais, clínicas, outros)
<b>Industrial</b>	Gerador (indústria)
<b>Portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários</b>	Gerador (portos e outros)
<b>Agrícola</b>	Gerador (agricultor)
<b>Entulhos</b>	Gerador

Fonte: Adaptado CEMPRE (2011)

### 2.2.3 – Aterro Sanitário

O termo aterro sanitário refere-se a um local planejado para receber os resíduos sólidos, com visão de não apresentar danos à saúde pública e também ao meio ambiente. Pinto (1992) indica o conceito de aterro sanitário como um método de disposição do lixo no solo que não cause danos ao meio ambiente e que não provoque moléstias ou perigo à saúde pública.

A técnica empregada nos aterros sanitários utiliza os princípios da engenharia a fim de realizar o confinamento dos resíduos sólidos em uma menor área possível reduzindo assim os mesmos em um menor volume, cobrindo-os ao fim do processo com uma camada de terra (IPT, 2000). De acordo com Fade (2014) os aterros sanitários podem ser classificados como a) *Aterro de Vala* indicado com escavações com profundidade limitada não mecanizadas, b) *Aterro de Trincheira* indicado com escavações com profundidade limitada mecanizadas, c) *Aterro de Encosta* caracterizado pelo uso de taludes ou encostas e d) *Aterro em Área* caracterizado pela disposição em áreas planas acima da cota do terreno natural.

A configuração de um aterro sanitário apresenta-se com as segmentações de setor de preparação, setor de execução e setor concluído (Figura 03). Conforme apresentado por UNESP (2016) alguns aterros sanitários podem desenvolver estes setores de forma simultânea, ressaltando-se que aterros sanitários de menor porte podem desenvolver cada setor de uma única vez.

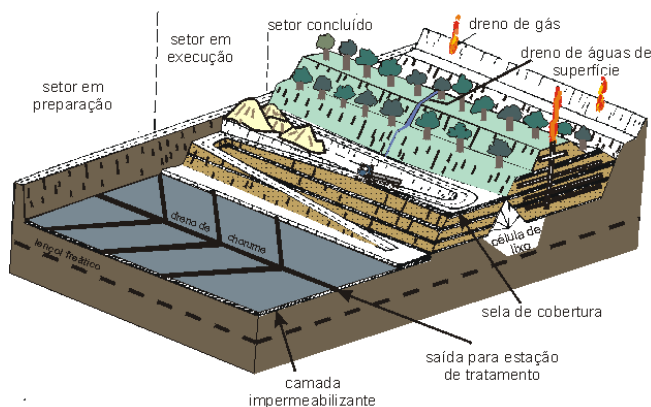


Figura 03 – Esquema de um aterro sanitário

Fonte: UNESP/IGCE (2016)

A Tabela 3 apresenta os critérios a serem observados referentes a construção e operação de um aterro sanitário:

Tabela 3 – Critérios para construção e operação de um aterro sanitário

Considerar adequação ambiental relacionada a legislação em vigor.	Infraestrutura, mão de obra e equipamentos adequados para operação	Possibilidade de expansão em áreas próximas ao atual local de construção.
---	--	---

Distanciamento dos centros produtores de resíduos e contínuo acompanhamento de conservação das vias de acesso.	Existência de novas áreas (alternativas), caso necessário, a fim de viabilizar o novo aterro.	Disponibilidade de recursos financeiros.
Verificação do terreno, avaliando suas características tais como: geologia, geotécnica, hidrogeologia, biota, uso e ocupação do solo nos entornos e conflitos de uso do solo já existentes.	Vida útil restante, a partir de cálculos realizados com base no volume do RSU a ser descartado, área disponível e projeto para de utilização do local.	Histórico de operação, incluindo volume, tipos de resíduos sólidos recebidos, infraestrutura existente, e condições realizadas em anos anteriores (compactação, cobertura, entre outros.).

Fonte: Elaborado pela autora, a partir de dados do IPT (2000)

Para Borges (1999) pode-se destacar dentre as vantagens de um aterro sanitário os pontos: a) rápida implantação, b) possibilita a recuperação de terrenos degradados, c) aproveitamento de biogás (caso projetado com esta finalidade), d) proteção ao meio ambiente e a saúde pública, e) recebimento de quase todos os tipos de resíduos e f) destinação final sanitária adequada (caso seja realizada de forma correta).

Conforme apresentado por Abetre e FGV (2009), os investimentos para criação de um aterro sanitário podem ser divididos nas etapas de: pré-implantação, implantação, operação, encerramento e pós-operação. A tabela 4 apresenta os custos médios para implantação de aterros sanitários.

Tabela 4 – Custo de Implantação de Aterros Sanitários por Etapa – Estimativa (R\$)

<b>Etapas</b>	<b>Grande – 2.000 t/dia</b>	<b>Médio I – 1.000 t/dia</b>	<b>Médio II – 500 t/dia</b>	<b>Pequeno – 100 t/dia</b>
Pré-implantação	4.065.461	2.032.730	1.355.153	608.087
Implantação	18.169.781	9.084.890	6.056.593	2.669.178
Operação	461.494.052	230.747.026	153.831.350	45.468.163
Encerramento	6.488.889	3.244.444	2.612.963	486.667
Pós-encerramento	35.575.984	17.787.992	11.858.661	3.212.354
<b>Total</b>	<b>525.794.167</b>	<b>262.897.083</b>	<b>175.264.722</b>	<b>52.444.449</b>

Fonte: Abetre e FGV (2009)

Albuquerque (2011) afirma que as áreas destinadas aos aterros sanitários têm vida útil limitada, sendo necessárias novas áreas que são cada vez mais difíceis de serem encontradas próximas aos centros urbanos, aliando-se a isso a resistência das populações do entorno. Destaca-se que para o primeiro aterro sanitário do Município de Macaé, situado na Rodovia Amaral Peixoto, localizado em Cabiúnas, junto ao entroncamento da estrada de Carapebus, sua vida útil foi abreviada. Em 1996 este aterro entrou em operação com indicação de projeto inicial para 15 anos. Cabe ressaltar que este aterro foi projetado para destinação exclusiva de resíduos sólidos urbanos e outros resíduos com característica similares. Segundo informações obtidas em visitas a Secretaria do Meio Ambiente do Município o aterro foi totalmente utilizado em um período menor que o projetado, cerca de 10 anos, sendo necessária a criação do 2º aterro sanitário do município, denominado Aterro

Sanitário da Fazenda São Sebastião dos 40. A partir de pesquisas realizadas não foi possível identificar a área (quantidade) atualmente já utilizada do 2º aterro, mas já se indica a necessidade de criação de um 3º aterro sanitário para o município.

A Figura 04 abaixo mostra o aterro sanitário do Município de Macaé, denominado Aterro Sanitário da Fazenda São Sebastião dos 40, inaugurado em 2009, está localizado às margens da BR-101, no sentido Rio de Janeiro, na área rural do 1º Distrito de Macaé, com ocupação de área total de 144.000 m<sup>2</sup>.

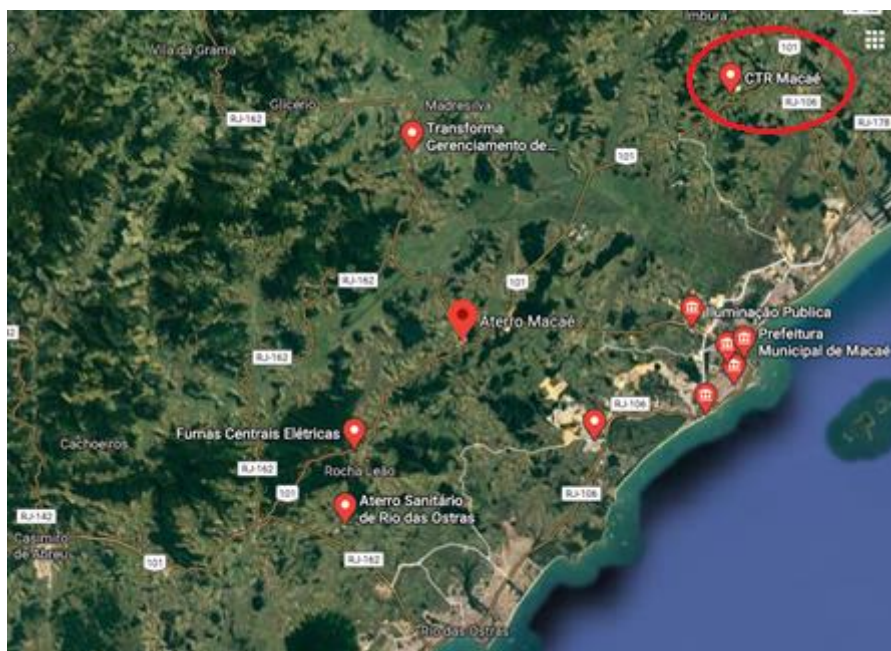


Figura 04 – Localização Geográfica do Aterro Sanitário de Macaé

Fonte: Google Maps, 2020

Conforme indicado no PNRS (2010) a responsabilidade pela prestação dos serviços de limpeza urbana é do município. A coleta dos RSU, em boa parte das cidades brasileiras, é realizada pela iniciativa privada nas formas de concessão, subcontratação ou permissão. No Município de Macaé este serviço é realizado pela empresa Zadar, conforme apresentado pela Construtora Zadar no Relatório Ambiental Simplificado – RAS (2005). Essa informação também é evidenciada no Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduo (PMRS, 2012).

Cabe ressaltar que o aterro sanitário de Macaé recebe resíduos das cidades Rio das Ostras (localizada a 45,8 Km, lado Sul, do centro de Macaé) e Quissamã (localizada a 77,3 Km, lado Norte, do centro de Macaé). O Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos da cidade de Rio das Ostras (CTRSRO) alcançou sua capacidade máxima para receber lixo doméstico, sendo os seus resíduos transportados para o aterro sanitário de Macaé, devidamente licenciado, sob a logística de

transbordo, comumente o CTR-Zadar-MACAÉ, Tecnosol-Quissamã, Essensis-Macaé, à critério da empresa contratada.

De acordo com a Sema para a coleta e limpeza urbana no Município de Macaé, este possui cobertura domiciliar regular de RSU funcionando a partir de planos estabelecidos pelo Prefeitura. Apesar de apresentado plano de coleta com indicação de locais e dias da semana a serem realizados, cabe ressaltar que não existe uma padronização, bem como uma correta segregação (seleção) dos materiais em suas origens (domicílios), conseqüentemente, sendo possível indicar que não há uma coleta seletiva realizada em bairros do município.

### **2.3 Modelo Conceitual de Gestão Integrada de Resíduos**

A Lei nº 12.305/2010 que indica a Política Nacional de Resíduos Sólidos apresenta em seu Art. 18 que os municípios priorizados para receberem recursos da União são aqueles que a) “optarem por soluções consorciadas intermunicipais para a gestão dos resíduos sólidos, incluída a elaboração e implementação de plano intermunicipal, ou que se inserirem de forma voluntária nos planos microrregionais de resíduos sólidos e b) “implantarem a coleta seletiva com a participação de cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda.”

A partir do exposto entende-se que o tratamento dos resíduos sólidos municipais deve estar adequado e relacionado a um planejamento específico que tenha como meta o aumento dos índices de reciclagem, com o objetivo direcionado para o atendimento as metas nacionais relacionadas a diminuição dos resíduos sólidos encaminhados para os aterros sanitários

A Figura 05 apresenta um modelo conceitual de Gestão Integrada de Resíduos. Observa-se a integração entre os principais processos (coleta e transferência, triagem e disposição final). Indica-se para esse modelo a possibilidade de realização e apresentação de soluções consorciadas em relação aos processos de triagem e tratamento, bem como a disposição final dos resíduos.



Figura 05 – Fluxograma Geral de um Modelo de Gestão Integrada de Resíduos

Fonte: Elaborado pela Autora

### 2.3.1 – Educação Ambiental

A década de 1980 mostrou-se como importante marco para o desenvolvimento da Educação Ambiental no Brasil, pois nesse período a Educação Ambiental mostrou-se como um processo político, relacionado a grandes movimentos que apresentavam como foco a democratização do poder no Brasil, depois de muitos anos de regime militar (CARVALHO, 2002).

Podemos apontar como marcos importantes, relacionados a Educação Ambiental, a Conferência de Tbilisi, realizada em 1977, na Geórgia; a divulgação do Relatório Brundtland (Our Common Future – Nosso Futuro Comum), em 1987; e a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92 ou Eco 92), realizada em 1992 no Brasil.

O ponto importante destacado pelo Relatório Brundtland (WCED, 1987) foi defender a ideia do desenvolvimento sustentável, e por indicá-la como necessidade do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações em satisfazerem suas próprias necessidades (BRUSEKE, 2001) – apesar de não podermos indicar especificamente as necessidades das gerações atuais, pois estas podem variar conforme os diferentes países, regiões, culturas, religiões, etc. e também que não temos como afirmar as necessidades das futuras gerações, por estas não existirem ainda, podemos sempre fazer conjecturas sobre elas (CARVALHO; BARCELLOS, 2009).

A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92 ou Eco 92) foi um ponto importante para o assunto tratado entre países ricos e países menos desenvolvidos, pois alguns países ricos não assumiram compromissos (p. ex.: Estados Unidos da



América) referente a adoção de medidas efetivas para redução da degradação ambiental e também relacionado a contribuição com recursos para financiamento do desenvolvimento sustentável (Ramos, 2001). Cabe ressaltar que o evento produziu a assinatura de pontos importantes como: a) Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento; b) Agenda 21; c) Princípios para a Administração Sustentável das Florestas; d) Convenção da Biodiversidade; e e) Convenção sobre Mudança do Clima. Ressalta-se que a Rio 92 pontuou a importância do conceito de sustentabilidade, como um potencial para busca e desenvolvimento da sociedade humana associado à conservação dos recursos naturais.

Ressalta-se como marco legal, a aprovação da Política Nacional de Educação Ambiental em 1999, que apresenta em seu conteúdo os princípios e objetivos da Educação Ambiental no Brasil, estabelecendo que a mesma deve ser uma prática que envolva a sociedade, em permanente busca pela formação de valores, a relação entre a ética, a educação, o trabalho e as práticas sociais, bem como reconhecer o respeito à pluralidade e à diversidade individual (BRASIL, 1999).

A Agenda 21 reconheceu que a gestão de RSU deve seguir uma ordem de prioridade: a redução de produção, o reuso e a reciclagem e posteriormente a disposição final de forma adequada. A Lei nº 9.795/99 traz no Art. 10 a indicação de que a educação ambiental deve ser desenvolvida como prática educativa integrada, continuada e permanente em todos os níveis do ensino formal.

Já Dias (2004) apresenta que:

“A Educação Ambiental teria como finalidade promover a compreensão da existência e da interdependência econômica, política, social e ecológica da sociedade; proporcionar a todas as pessoas a possibilidade de adquirir conhecimentos, o sentido dos valores, o interesse ativo e as atitudes necessárias para proteger e melhorar a qualidade ambiental; induzir novas formas de conduta nos indivíduos, nos grupos sociais e na sociedade em seu conjunto, tornando-a apta a agir em busca de alternativas de soluções para seus problemas ambientais, como forma de elevação de qualidade de vida.”

Dias complementa que “precisamos utilizar todos os recursos pedagógicos disponíveis acentuando as atividades práticas, levando em consideração que a Educação Ambiental está relacionada diretamente a ação” (DIAS, 2004 p. 102).

## **2.4 Ações e Projetos Implantados pela Prefeitura de Macaé**

### *2.4.1 – Projeto Coleta Seletiva de Lixo*

Em 2010, a Prefeitura de Macaé implantou através da Secretaria Municipal de Serviços Públicos (Semusp) o Projeto Coleta Seletiva de Lixo (MACAÉ, 2010), onde indicava como meta o

atendimento de todo o município até o final de 2011. Foram instalados coletores para papel/papelão (azul), plástico (vermelho), metal (amarelo) e vidro (verde) em pontos estratégicos do bairro. Indicava-se ainda, no momento, que a coleta dos resíduos não recicláveis (como papel sujo, fraldas descartáveis, cascas e restos de comida) continuava normalmente.

Notícia veiculada pelo jornal local, apresentava a suspensão do serviço de coleta seletiva de lixo, prestado pela prefeitura, no bairro Mirante da Lagoa. De acordo com moradores “a coleta seletiva teria sido suspensa em 2015 e nunca mais voltou a ser feita. Não sendo indicado o motivo do ocorrido e não sendo apresentada informações.

De acordo com o publicado na Lei 12.305/2010, em seu artigo 35, determina-se que a partir do momento em que seja implantado um sistema de coleta seletiva, os consumidores e usuários devem atender a dois requisitos: acondicionar de modo adequado e de maneira específica os resíduos sólidos produzidos e destinados à coleta seletiva e disponibilizar de forma correta os resíduos sólidos com potencial para reutilização e reciclagem para a coleta ou devolução. Portanto a coleta seletiva é motivadora e facilitadora com base no artigo 35 da Lei 12.305/2010, que dispõe das obrigações dos consumidores, a partir de implantação do sistema de coleta seletiva, realizado pelo município, como proposta do plano municipal de gestão de resíduos sólidos.

A partir de iniciativa entre a empresa Macaense Ambiental Offshore e a Prefeitura de Macaé foi implantado novo projeto de coleta de seletiva nas praias da cidade, sendo incluída neste novo projeto a Praia do Pecado, anteriormente com a coleta seletiva não ocorrida.

Em outubro de 2018, a cidade de Macaé, a partir da Sema, apresentou seus dados em notícia veiculada indicada - Macaé estimula reaproveitamento de resíduos sólidos - onde indica que “entre o ano de 2014 até o mês de julho de 2018, 2.905 toneladas de pneus, 26.711 litros de óleo vegetal, 13.259 quilos de resíduos eletroeletrônicos e 24.912 lâmpadas fluorescentes” foram enviadas para reciclagem e destinação ambientalmente adequada.

#### *2.4.2 – Projeto Recycle Seu Óleo*

Como exemplo, a (Sema) oferece alternativas de destinação para alguns tipos de resíduos sólidos e líquidos, orientando sobre os danos ao meio ambiente e à saúde relacionados ao descarte incorreto desses resíduos, até que fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes implementem a logística reversa.

O projeto Recycle seu Óleo trabalha em parceria com o PROVE - Programa de Reaproveitamento de Óleos Vegetais do Estado do Rio de Janeiro, sendo recebido pela Secretaria de Ambiente óleo vegetal em garrafa PET em 12 pontos de entrega voluntária. Todo material coletado é

encaminhado para reciclagem, sendo usado como matéria-prima na produção de sabão, detergente e de fontes de energia alternativas, como o biodiesel conforme apresentado pela

GRIMBERG (1998) destaca que existem duas modalidades básicas relacionadas a coleta seletiva: os postos de entrega voluntária (PEV) e a coleta Porta à Porta. Os indicados como PEV tem como exemplos as caçambas, *containers* ou conjunto de tambores, todos estes devidamente identificados a fim de receber materiais previamente selecionados pelos geradores de resíduos. Estes são instalados em pontos estratégicos, com indicação de grande fluxo de pessoas e fácil acesso. Na modalidade indicada como Porta à Porta ocorre a visitação de veículo que percorre as vias públicas, recolhendo os materiais recicláveis previamente separados, dispostos em frente aos domicílios ou em estabelecimentos comerciais em dias indicados.

Cabe salientar que a reciclagem é um processo de transformação dos resíduos sólidos ou líquidos o qual abrange mudança de suas propriedades biológicas, físicas ou físico-químicas, obtendo como resultado à transformação em matéria-prima ou novos produtos (BRASIL, 2010), sendo apresentado como parte importante a ser destacada. A Lei nº 12.305/2010 (PRNS) sugere que “todas as pessoas física ou jurídica, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos, que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos” (BARTHOLOMEU *et al.*, 2011, p. 23).

#### 2.4.3 – Tratamento de Resíduos Hospitalares

Em visita realizada ao Hospital Municipal de Macaé (HPM) foi identificado que o processo de autoclavagem é utilizado no tratamento dos resíduos hospitalares não recicláveis ou indicados para coleta seletiva. Este processo consiste em manter o material contaminado a uma temperatura elevada, através do contato com vapor água, durante um período de tempo suficiente para destruir os agentes patogênicos.

Referente aos Resíduos Sólidos de Saúde – RSS foi identificado que o Município de Macaé não possui um Plano de Gestão Integrado para o tratamento destes tipos de resíduos. Conforme apresentado, estes resíduos, são direcionados ao aterro sanitário de Macaé para tratamento conforme normas estabelecidas pela empresa responsável.

### 3. METODOLOGIA

O trabalho de pesquisa utilizou a metodologia exploratória descritiva, com natureza aplicada, conduzida por meio da análise de artigos publicados nos indexadores Periódico CAPES, Google Acadêmico, tendo como premissas consultas à documentos públicos como Plano Municipal de

Gerenciamento de Resíduos de Macaé, versão preliminar do Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Macaé, a Lei nº 12.305/2010 do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, visitas e telefonemas realizados à Secretaria de Obras de Macaé, Secretaria de Ambiente e Sustentabilidade, Secretaria Municipal de Serviços Públicos do Município de Macaé/RJ.

#### **4. RESULTADO E DISCUSSÃO**

##### **4.1 - Diagnóstico da Gestão de RSU no Município de Macaé e Programas Municipais de Coleta e Destinação de Resíduos**

Com a finalidade de realizar verificações sobre a quantidade de RSU destinados ao aterro sanitário de Macaé foram realizados contatos com a Secretaria de Limpeza da Prefeitura de Macaé (SELIMP) e a Construtora Zadar, não obtendo êxito em contatos telefônicos e não sendo recebidas informações oficiais qualitativas e quantitativas relacionadas aos números de geração de RSU no município e a sua disposição no destino final. Muitos dados apresentados nesta pesquisa foram obtidos por meio de informações disponibilizadas no site oficial do Município de Macaé ([www.macaee.rj.gov.br](http://www.macaee.rj.gov.br)).

Após a coleta de dados e informações observadas foi possível verificar que o município de Macaé apresenta algumas ações relacionadas ao tratamento dos RSU, com a finalidade de atendimento às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). O município apresentou em janeiro de 2021, uma versão preliminar do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) para consulta pública. Apesar do PMSB ser apresentado e indicar pontos relacionados a Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos, bem como os Mecanismos para a Avaliação Sistemática da Eficácia, Eficiência e Efetividade das ações programadas (PMSB, 2021).

De acordo com o PMSB/2021 o dimensionamento futuro da população de Macaé é uma importante base para subsidiar ações de planejamento. O plano apresenta as projeções demográficas a partir de resultados provenientes de estimativas baseadas em pontos que podem interferir na evolução da gestão e atividades relacionadas ao planejamento urbano. O Gráfico 3 apresenta a projeção da população para o período de 2020-2030 do município de Macaé.

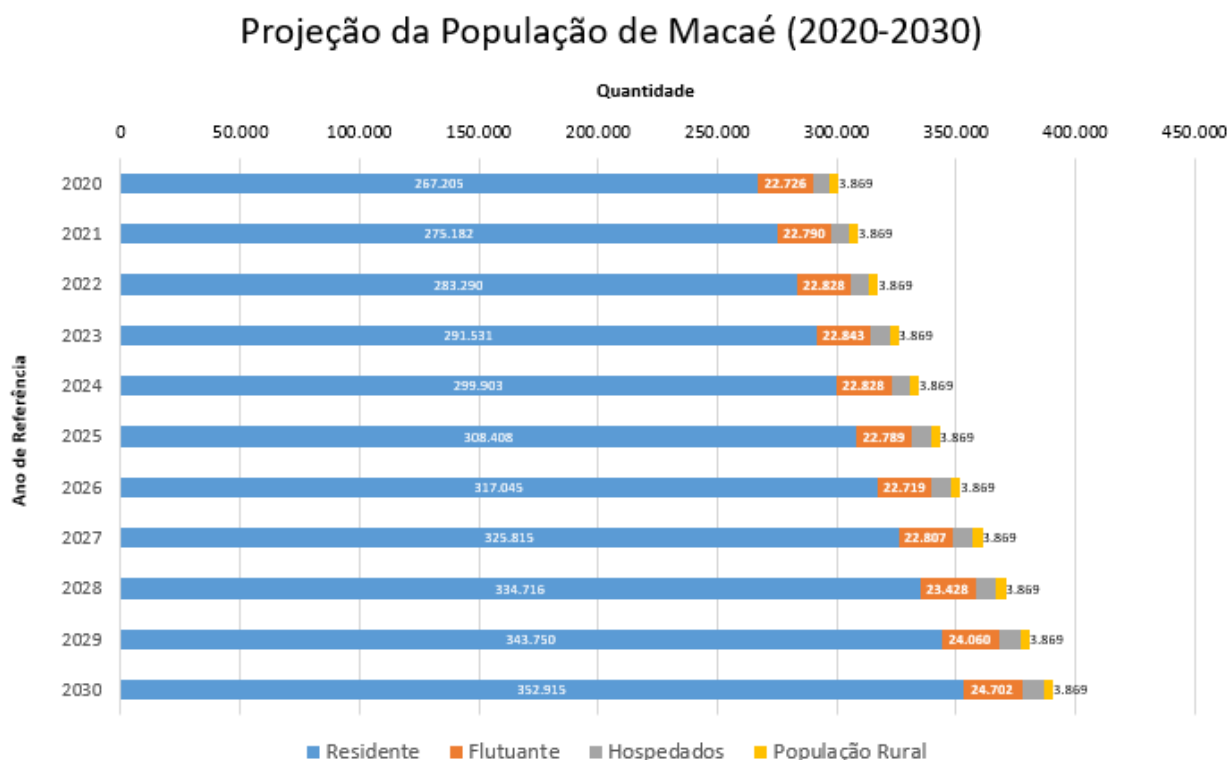


Gráfico 1 – Projeção da População de Macaé - PMGRS

Fonte: PMSB, 2021

Observa-se no Gráfico 1 que no período de 2020 a 2030 projeta-se um aumento progressivo da população que reside no município, tendo como consequência o aumento da geração dos RSU.

O artigo 14 da Lei nº 12.305/2010 (PNRS) determina que sejam desenvolvidos instrumentos de gerenciamento em formato de planos de resíduos sólidos nos âmbitos nacional, estadual, microrregional, intermunicipal, municipal e industrial. O município de Macaé possui um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos do Município (PGRSM) desde 2012. O PGRSM não passou por revisão desde a sua elaboração para que fossem corrigidas inconsistências com a PNRS conferindo maior clareza e profundidade ao documento. É necessário que sejam incorporadas ao plano muitas metodologias, detalhamento de indicadores de desempenho, relacionar procedimentos técnicos, detalhar como deve ser a especificação do serviço prestado, metas de redução de volume de resíduos, reciclagem e coleta seletiva, quais devem ser as medidas mitigadoras, identificação de áreas contaminadas, passivos ambientais, dentre outros. Muitos tópicos no plano são tratados de forma superficial e indireta, o que dá margem para que várias ações sejam tomadas sem confronto com os princípios que instituiu a Lei. Há desconformidades em vários pontos que abrangem os capítulos das diretrizes da PNRS, mostrando uma falta de comprometimento com os princípios de uma cidade sustentável.

#### 4.1.1 Programas Municipais de Coleta e Destinação de Resíduos

De acordo com a Secretaria Municipal de Ambiente e Sustentabilidade de Macaé, o município possui programas e ações de destinação de resíduos especiais, em atendimento a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Lei Federal nº 12.305/2010). Estes Programas visam oferecer aos munícipes alternativas ambientalmente adequadas de destinação de seus resíduos sólidos, orientando sobre os danos ao meio ambiente e à saúde relacionados ao descarte incorreto desses resíduos, até que fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes implementem a logística reversa.

No PMSB/2021 é apresentada indicação da parceria do Município de Macaé com o Programa de Reaproveitamento de Óleos Vegetais do Estado do Rio de Janeiro (PROVE), com implantação do Programa Municipal de Coleta de Óleo Vegetal Usado - “Recicle seu Óleo” e instalação de pontos de entrega voluntária adequada para este resíduo. O Gráfico 2 abaixo mostra os dados relacionados a quantidade de óleo recolhido desde o início da aplicação do programa em 2014 até o momento. Apesar de ser observado grande aumento relacionado aos anos de 2019 e 2020, em contatos realizados com a secretaria responsável, não foi possível obter as justificativas do referido aumento.

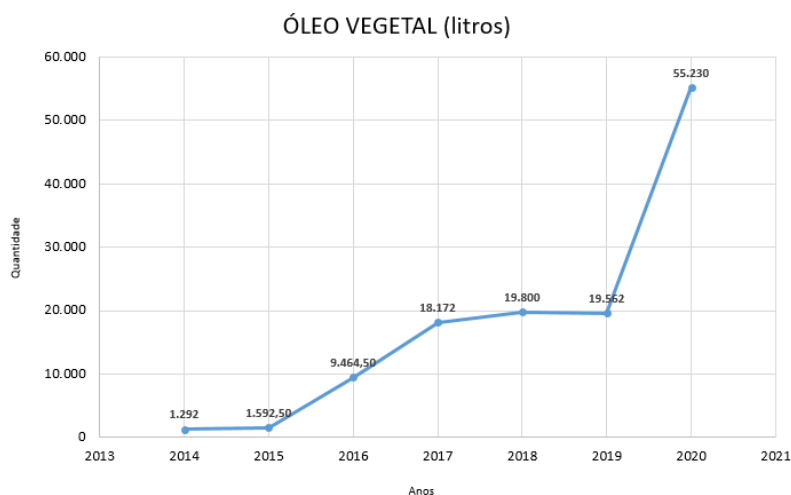


Gráfico 2 – Programa Recicle seu Óleo

Fonte: MACAÉ 2021

Em relação ao tratamento de resíduos eletrônicos e à logística reversa dos mesmos a empresa responsável por realizar esse trabalho na cidade de Macaé é a “Nova Recicle Logística Reversa”. O Gráfico 3 mostra a aplicação do programa, onde observa-se um aumento nos dois primeiros anos, tendo como pico o ano de 2018, porém, devido à Pandemia Covid houve uma grande redução na quantidade coletada a partir de 2019.

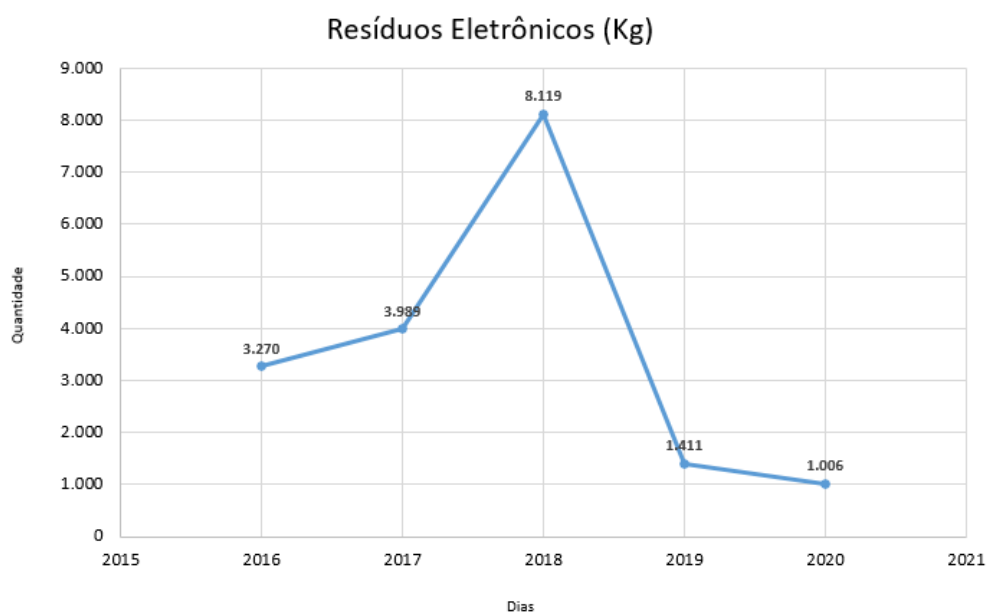


Gráfico 3 – Programa Coleta de Resíduos Eletrônicos

Fonte: MACAÉ 2021

Outra atividade verificada referente a logística reversa foi observada a partir do Programa Municipal de “Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis” (MACAÉ, 2019), desenvolvido pela Sema em parceria com a Reciclanip, os quais estabeleceram um convênio de cooperação mútua com o objetivo de desenvolver ações conjuntas e integradas, visando a proteção do meio ambiente. No primeiro trimestre de 2019 foram indicados para a reciclagem 63 toneladas de pneus inservíveis e em 2018, foram coletados e encaminhados para reciclagem 207 toneladas de pneus. De acordo com a prefeitura em notícia veiculada em 2019 “a Secretaria de Ambiente utiliza o caminhão Papa-Pneus que faz o recolhimento de pneus inservíveis em aproximadamente 70 borracharias do município, semanalmente, seguindo as rotas centro, norte, sul e serra, além de atender demandas de coleta fora da rota, como empresas, terrenos e residências”. O gráfico 4 mostra a evolução da aplicação do programa de coleta e destinação de pneus inservíveis ao longo dos anos de acordo com dados divulgados pela prefeitura de Macaé. Percebe-se uma queda acentuada na quantidade coletada nos últimos 5 anos. A partir de contatos realizados não foi possível obter informações sobre a indicação de queda acentuada apresentada no referido gráfico.

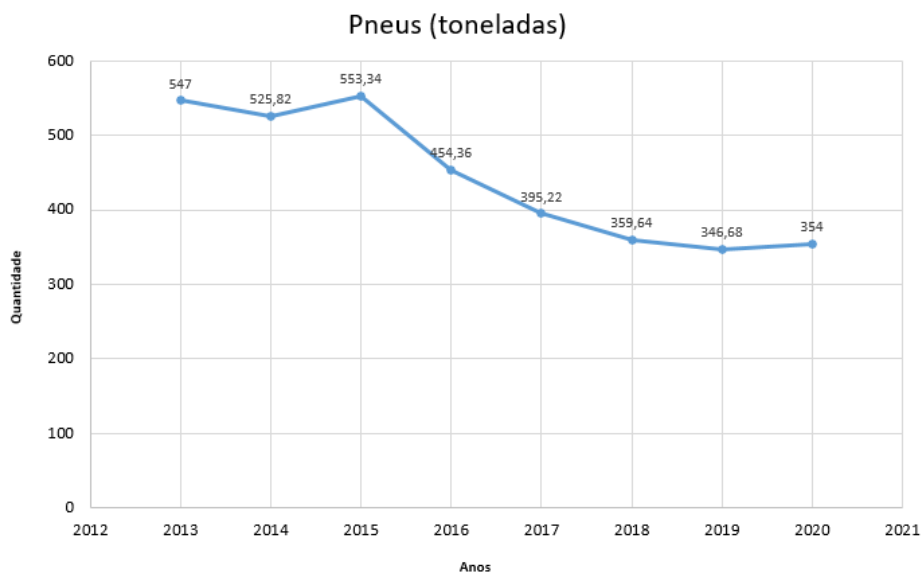


Gráfico 4 – Programa Coleta e Destinação de Pneus – Quantidade Coletada

Fonte: MACAÉ 2021

No Programa Municipal de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis, todos os pneus coletados são armazenados, temporariamente, para indicação de volume necessário para retirada dos pneus pela Reciclanip. Informações disponibilizadas pela SEMA indicam que atualmente, a principal destinação dada aos pneus é o co-processamento devido ao seu alto poder calorífico.

A partir dos dados populacionais e alguns projetos apresentados pelo município de Macaé é possível confrontar-se os valores e observar a indicação de questões relacionadas a gestão de RSU. Observa-se que apesar de serem indicados programas de destinação de RSU pela SEMA estes apresentam dados em declínio (Programa de Coleta de Pneus e Resíduos Eletrônicos) o que preocupa quando relacionados ao crescimento populacional apresentado. As quantidades de RSU geradas, não coletadas e não destinadas, seguem um padrão de crescimento proporcional ao aumento da população do município.

É possível perceber que alguns programas não apresentam crescimento contínuo relacionado a suas propostas, o que preocupa e indica um problema relacionado a gestão de RSU no município de Macaé, principalmente os indicados ao tratamento dos resíduos hospitalares, que são destinados ao aterro sanitário após a autoclavagem.

## 5. CONCLUSÃO

Após pesquisas pode ser verificado que a Lei 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, indica grande avanço na área de planejamento urbano apresentando procedimentos



que indicam progressos nos “segmentos sociais, econômicos, ambiental, de infraestrutura, gerencial e territorial”. Observa-se que a PNRS tem como proposta minimizar os efeitos que os descartes de resíduos sólidos representam ao meio ambiente, a partir de descarte irregulares e pela falta de conscientização dos atores envolvidos neste processo,

Foi possível concluir os pontos indicados a seguir:

- O Município de Macaé possui os documentos relacionados ao Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PMGRS/2012) e o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB, 2021). Porém, o PMGRS não passou por nenhuma revisão desde 2012 quando foi implementado. O documento não estabelece a periodicidade de revisão, nem a vigência, sendo que os planos municipais de resíduos sólidos devem permanecer vigentes por um período máximo de 20 anos, com revisão periódica a cada 4 anos. O PMSB trata-se de um documento preliminar, ainda em revisão a fim de atender o Plano Nacional de Resíduos Sólidos dentro do município;
- As destinações finais dos RSU do município são indicadas para o aterro sanitário (PSGRS, 2012), estas adotadas como prática padrão, ocasionando assim grande aumento no volume dos resíduos enviados, uma vez que este é o único processo desenvolvido;
- O município de Macaé possui pontos positivos relacionados a indicação de tratamento de alguns tipos de resíduos nos programas Recicle seu Óleo, de Coleta de Óleo Vegetal Usado; Coleta de Resíduos Eletroeletrônicos; Coleta de Pneus e coleta de Lâmpadas Fluorescentes sendo estes pontos:
  - a coleta seletiva possibilita geração de renda;
  - possibilidade de reciclagem dos resíduos sólidos minimizando envio dos mesmos ao aterro sanitário;
  - conscientização dos munícipes sobre preservação ambiental;
- Foi possível observar, de acordo com informações da SEMA, que alguns projetos mesmo com indicações de implementação, encontram-se fora de operação (suspensos), questionados em sua divulgação e também com queda nos indicadores de execução.
- Conforme apresentado no PMGRS (2012) a evolução populacional do município para os próximos 10 (dez) anos indica grande crescimento relacionando assim a necessidade de uma gestão efetiva do gerenciamento dos RSU gerados a fim de garantir o atendimento ao PNRS;

- Apesar de existirem indicações de dados relacionados a alguns programas para tratamento de resíduos alguns destes apresentam queda, não sendo apresentadas ações de acompanhamento de indicadores;
- O documento relacionado ao PMGRS/2012 foi analisado em sua revisão atual e o mesmo não indica o atendimento de pontos importantes da PNRS, como por exemplo, capacitação técnica das pessoas que atuam nessa área, implementação de programas de monitoramento, controle e fiscalização, inclusão de ações de correção e prevenção, estabelecimento de metas para redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem, assim como procedimentos operacionais dos serviços de limpeza urbana e manejo dos RSU. Dessa forma, o município necessita de uma revisão detalhada desse documento, a fim de servir como base principal para gestão do município relacionado ao tratamento de RSU e o atendimento ao que institui a lei.
- Apesar do tratamento (autoclavagem) realizado pelo Hospital Municipal de Macaé, para resíduos sólidos hospitalares, não foi possível garantir que os mesmos têm sua destinação final correta.

O município de Macaé necessita realizar maior discussão sobre as estratégias apresentadas em seus PMRGS (2012) e o PMSB (2021) a fim de atender o PNRS. Como observado os programas apresentados não atendem em plenitude as necessidades para o tratamento dos RSU.

## **6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABRETE – Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos; FGV – Fundação Getúlio Vargas. Estudo sobre os aspectos econômicos e financeiros da implantação e operação de aterros sanitários. Rio de Janeiro: FGV, 2009.

ALBUQUERQUE, J. B. T. Resíduos sólidos. Leme: Independente, 2011.

BAPTISTA, V. F. As políticas públicas de coleta seletiva no município do Rio de Janeiro: onde e como estão as cooperativas de catadores de materiais recicláveis? Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro, v. 49, n. 1, p. 141-164, jan./fev. 2014.

BARROS, R. T. de V. Elementos de gestão de resíduos sólidos. Belo Horizonte: Tessitura, 2016.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 275/2001. Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva. Publicada no DOU no 117-E, de 19 de junho de 2001, Seção 1, página 80.

BRASIL. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a Educação Ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. DF, 1999. 1p. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Brasília, DF: [s.n.], 2007. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm) > Acesso em: 15 out. 2021.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 de Ago.de 2010.

BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE – Biblioteca Virtual em Saúde, Governo do Brasil, <[http://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/classificacao\\_risco\\_agentes\\_biol%C3%B3gicos](http://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/classificacao_risco_agentes_biol%C3%B3gicos)>. Acesso em: 15 Jan. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Manual Para Implantação de Compostagem e de Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu\\_urbano/\\_arquivos/3\\_manual\\_implantao\\_compostagem\\_coleta\\_seletiva\\_cp\\_125.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/3_manual_implantao_compostagem_coleta_seletiva_cp_125.pdf)> 2010 Acesso em: 12 Set 2020

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria Executiva. Projeto Reforço à Reorganização do Sistema Único de Saúde (REFORSUS). Gerenciamento de resíduos de serviços de saúde / Ministério da Saúde, Secretaria Executiva, Projeto Reforço à Reorganização do Sistema Único de Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2001.

BORGES, M. E. Gerenciamento de Limpeza Urbana. Viçosa: Editora CTP 1999. 66p.

CARVALHO, I.C.M. O ‘ambiental’ como valor substantivo: uma reflexão sobre a identidade da Educação Ambiental. In: Sauv , L. ORELLANA, I. SATO, M. Textos escolhidos em Educa o Ambiental: de uma América   outra. Montreal, Publications ERE-UQAM, 2002, Tomo I, 9. 85-90 (versão em português).

CARVALHO, P. G. M.; BARCELLOS, F. C. Políticas públicas e sustentabilidade ambiental: construindo indicadores de sustentabilidade. 2009.

CEMPRE. Política Nacional de Resíduos Sólidos: a lei na prática. São Paulo: CEMPRE; 2011. Disponível em: <[http://www.cempre.org.br/download/pnrs\\_leinapratica.pdf](http://www.cempre.org.br/download/pnrs_leinapratica.pdf)> Acesso em: 13 Set. 2020.

CORREA, M. P.; SILVA, J. A. F.. Centro Didático-Pedagógico para o Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos: Estudo de Caso para Avalia o de Viabilidade no Instituto Federal Fluminense - Campus Macaé, RJ-BRASIL.HOLOS, Ano 31, Vol. 6. Macaé, 2015.

CONSÓRCIO – FATOR, CONCREMAT & Vernalha Guimarães & Pereira Advogados (VG&P) – Estudos Técnicos e Planejamento para a Universaliza o do Abastecimento de água e Esgotamento Sanitário do Município de Macaé. Saneamento Rio de Janeiro, 2019

CONSTRUTORA ZADAR LTDA. Relatório Ambiental Simplificado – RAS. Novo Aterro Sanitário de Macaé/RJ. Volume I. 2005.

DIAS, G.F. Educa o Ambiental: Princípios e Práticas. 9. ed. São Paulo: Gaia, 2004.

FADE – Funda o Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco. Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposi o final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Jaboatão dos Guararapes, PE: Grupo de Resíduos Sólidos–UFPE, 2014.

GRIMBERG, E., BLAUTH, P. Coleta Seletiva - Reciclando Materiais, Reciclando Valores. Revista Pólis, n  31, 103 p., 1998. Disponível:

[http://www.lixoecidadania.org.br/lixoecidadania/Files/m\\_coletaSeletiva/Coleta%20Seletiva.doc](http://www.lixoecidadania.org.br/lixoecidadania/Files/m_coletaSeletiva/Coleta%20Seletiva.doc)

Acesso em: 05 Jan 2021

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Informação Populacional e Densidade Demográfica, 2021. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/macaie/panorama>>. Acesso em: 12 Out 2021.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

IGNACIO, A. A. V.; LIMA, B. M.; SAMPAIO, L. M. D. Gestão de Resíduos Sólidos em Rede de Cidades Conectadas por Empresas Produtoras de Petróleo e Gás: Macaé e Rio das Ostras: XXXIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2014. 18 p

LIMA, J. D. Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil. João Pessoa: ABES. 2002.

MACAÉ, 2010, Secretaria Municipal de Serviços Públicos da Prefeitura Municipal de Macaé (Semusp) – Macaé implanta Projeto Coleta Seletiva de Lixo, Disponível em: < <http://www.macaie.rj.gov.br/servicospublicos/leitura/noticia/macaie-implanta-projeto-coleta-seletiva-de-lixo>>. Acesso em: 22 abr. 2020.

MACAÉ, Lei Orgânica do Município de Macaé, 2011. Disponível em <[http://www.sepexrio.org.br/wp-content/uploads/2013/08/leiorganica\\_macaie.pdf](http://www.sepexrio.org.br/wp-content/uploads/2013/08/leiorganica_macaie.pdf)>. Acessado em> 12 out 2021.

MACAÉ, 2016, Secretaria Municipal de Educação da Prefeitura Municipal de Macaé (Seduc) – Educação ambiental é reforçada nas escolas, Disponível em: < <http://www.macaie.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/educacao-ambiental-e-reforcada-nas-escolas>>. Acesso em: 16 out. 2020.

MACAÉ, 2017, Secretaria de Educação da Prefeitura Municipal de Macaé (Seduc) – Rede Municipal investe na educação ambiental, Disponível em: < <http://macaie.rj.gov.br/semec/leitura/noticia/rede-municipal-investe-na-educacao-ambiental#prettyPhoto>>. Acesso em: 08 mai. 2020.

MACAÉ, 2018, Secretaria de Ambiente e Sustentabilidade da Prefeitura Municipal de Macaé (Sema) – Macaé estimula reaproveitamento de resíduos sólidos, Disponível em: < <http://www.macaee.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/macaee-estimula-reaproveitamento-de-residuos-solidos>>. Acesso em: 24 abr. 2020.

MACAÉ, 2020, Secretaria de Ambiente e Sustentabilidade da Prefeitura Municipal de Macaé (Sema) – Institucional, Disponível em: < <http://www.macaee.rj.gov.br/sema/conteudo?id=2542>>. Acesso em: 08 mai. 2020.

MACAÉ, 2019, Secretaria de Ambiente e Sustentabilidade da Prefeitura Municipal de Macaé (Sema) – Prefeitura coleta 63t de pneus inservíveis no primeiro trimestre, Disponível em: < <http://macaee.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/prefeitura-coleta-63t-de-pneus-inserviveis-no-primeiro-trimestre>>. Acesso em: 25 abr. 2020.

MACAÉ, 2021, Secretaria de Ambiente e Sustentabilidade da Prefeitura Municipal de Macaé (Sema) – Institucional, Disponível em: < <http://www.macaee.rj.gov.br/sema/conteudo/titulo/programas-municipais-de-coleta-e-destinacao-de-residuos-especiais>>. Acesso em: 20 Junho. 2021.

MOTA, S. Introdução à Engenharia Ambiental. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2002.

NASCIMENTO, P. N. (2013) – Resíduos Sólidos Urbanos. Perspectivas de gestão intermunicipal em regiões metropolitanas. São Paulo: Atlas

O DEBATE, 2017, ODEBATEON – Meio Ambiente: Coleta seletiva segue suspensa em Macaé, Disponível em: < <https://odebateon.com.br/site/noticia/detalhe/38763/meio-ambiente-coleta-seletiva-segue-suspensa-em-macaee>>. Acesso em: 25 abr. 2020.

O DEBATE, 2018, ODEBATEON – Projeto leva coleta seletiva às praias do Pecado e Cavaleiros, Disponível em: < <https://odebateon.com.br/site/noticia/detalhe/41028/projeto-leva-coleta-seletiva-as-praias-do-pecado-e-cavaleiros>>. Acesso em: 25 abr. 2020.

O DEBATE, 2020, ODEBATEON – Aterro sanitário de Rio das Ostras é interditado, Disponível em: < <https://www.odebateon.com.br/aterro-sanitario-de-rio-das-ostras-e-interditado/>>. Acesso em: 11 Out. 2020.

USP Jornal, 2020. Fim dos lixões é adiado por falta de comprometimento dos municípios, Disponível em: < <https://jornal.usp.br/atualidades/fim-dos-lixoes-e-adiado-por-falta-de-compromissos-dos-municipios/>>. Acesso em: 13 set. 2021.

PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Macaé – Consórcio Intermunicipal Lagos São João (CILSJ), 2021

PMGRS – Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos do Município de Macaé – Secretaria Municipal de Limpeza Pública e Secretaria Municipal de Saúde, 2012

PINTO, M. S. A Coleta e disposição do lixo no Brasil. Rio de Janeiro. Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1992.

PINTO, A. E. M.; NASCIMENTO R. M.; Sustentabilidade e Precaução: Uma Avaliação do Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos de Macaé Referenciados na Política Nacional de Resíduos Sólidos. Revista de Direito da Cidade, 2018.

RAMOS, E. C. Educação ambiental: origem e perspectivas. Educar, Curitiba, n.18, p.201-218. 2001. Editora da UFPR.

REIS, W. F. Análise do modelo de gestão de resíduos sólidos do município de Formosa – GO e a atuação dos atores envolvidos. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental) - Universidade Católica de Brasília, 2006, 107p. Disponível em: <[http://www.bdttd.ucb.br/tede/tde\\_arquivos/6/TDE-2007-03-06T132400Z-405/Publico/DISSERTACAO%20DE%20MESTRADO%20-%20WENDER%20FREITAS%20REIS.pdf](http://www.bdttd.ucb.br/tede/tde_arquivos/6/TDE-2007-03-06T132400Z-405/Publico/DISSERTACAO%20DE%20MESTRADO%20-%20WENDER%20FREITAS%20REIS.pdf)>. Acesso em: 14 set. 2020.

SACHS, I. (2008). Desenvolvimento: “inclusivo”, sustentável e sustentado. Rio de Janeiro: Gramond.

SOUZA, M. F. Organizações produtivas: organizações produtivas. 2014. 33 f. Monografia (Especialização) - Curso de Organizações Produtivas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

Cap. 1. Disponível em: <[http://200.144.182.130/iee/sites/default/files/Mayra Ferrari de Souza.pdf](http://200.144.182.130/iee/sites/default/files/Mayra_Ferrari_de_Souza.pdf)>. Acesso em: 15 nov. 2019.

TCHOBANOGLIOUS, G.; KREITH, F. Handbook of Solid Waste Management. 2ªEd. New York: McGraw-Hill, 2002.

UN-HABITAT-United Nations Human Settlements Programme. Solid Waste Management in the World's Cities.London: UNHun. Washington, DC. Settl.Programm. 2010.

UNESP/IGCE. Módulo 12 - Disposição de Resíduos - 5. Formas de Disposição de Resíduos. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/resíduos/res13.html>>. Acesso em: 24 Jan. 2022.

WCED. World Commission on Environment and Development: our common future. Oslo: WCED, 1987. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20/documentos/>>. Acesso em: 20 Jun. 2020.

WHITE P.; FRANKE M.; HINDLE P. Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory. New York: Chapman & Hall. 1999.

WILLIAMS, P. T. Waste Treatment and Disposal. 2ª Ed. West Sussex, UK: Wiley.380 p., 200



## ARTIGO CIENTÍFICO 2

### GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM MACAÉ – RJ

#### Utilização do Processo de Incineração como Alternativa para Geração de Energia

#### RESUMO

A produção de resíduos sólidos urbanos no Brasil tem aumentado nos últimos anos sendo um grande desafio a ser enfrentado. A disposição inadequada destes resíduos causa sérios prejuízos ao meio ambiente. A gestão dos resíduos sólidos urbanos não está relacionada somente a indicação de um destino adequado, mas também a tecnologia viável para o seu tratamento e redução do volume gerado. Este trabalho tem como objetivo apresentar a utilização do processo de incineração como alternativa na redução do volume dos RSU enviados ao aterro do município de Macaé – RJ. Hoje, no município de Macaé – RJ o principal destino dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é o aterro sanitário. São discutidos ao longo do trabalho alguns aspectos tecnológicos, sociais, ambientais, econômicos e legais a fim auxiliar a análise são apresentadas informações sobre a contexto mundial e nacional de utilização do processo de incineração para tratamento dos RSU. Em termos metodológicos, uma investigação descritiva e exploratória foi conduzida por meio da análise de artigos publicados nos indexadores Periódico CAPES, Google Acadêmico, além de consultas a Política Nacional de Resíduos Sólidos/2010 (PNRS), Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) e o Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos de Macaé/2012 (PMRS) e visitas realizadas as secretarias de Ambiente e Sustentabilidade, Serviços Públicos e de Limpeza do Município de Macaé. De acordo com os resultados obtidos verifica-se que apesar do município possuir um Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PMRS) e realizar ações voltadas à área de Gestão dos Resíduos, estas ainda são insipientes o que possibilita a indicação do método de incineração como alternativa colaborativa para tratamento dos RSU visto apresentação de crescimento populacional nos próximos anos conforme indicação de projeção apresentado no PMSB (2021) do município de Macaé.

**Palavras-chave:** Rejeito. Preservação. Incineração

## *INTEGRATED URBAN SOLID WASTE MANAGEMENT OF MACAÉ – RJ*

### *Use of the Incineration Process as an Alternative for Power Generation*

#### **ABSTRACT**

*The production of urban solid waste in Brazil has increased in recent years, being a great challenge to be faced. The inadequate disposal of these residues causes serious damages to the environment. The management of urban solid waste is not only related to the indication of a suitable destination, but also the viable technology for its treatment and reduction of the generated volume. This work aims to present the use of the incineration process as an alternative to reduce the volume of MSW sent to the landfill in the municipality of Macaé - RJ. Today, in the municipality of Macaé - RJ, the main destination of urban solid waste (MSW) is the sanitary landfill. Some technological, social, environmental, economic and legal aspects are discussed throughout the work, in order to help the analysis, information is presented on the global and national context of using the incineration process for treating MSW. In methodological terms, a descriptive and exploratory investigation was conducted through the analysis of articles published in the indexes Periodical CAPES, Google Scholar, in addition to consultations with the National Solid Waste Policy/2010 (PNRS), Municipal Basic Sanitation Plan (PMSB) and the Macaé Municipal Waste Management Plan/2012 (PMRS) and visits to the Environment and Sustainability, Public Services and Cleaning Departments of the Municipality of Macaé. According to the results obtained, it appears that despite the municipality having a Municipal Solid Waste Management Plan (PMRS) and carrying out actions aimed at the area of Waste Management, these are still incipient, which makes it possible to indicate the method of incineration as collaborative alternative for the treatment of MSW given the presentation of population growth in the coming years as indicated in the projection presented in the PMSB (2021) of the municipality of Macaé.*

**Keywords:** *Tailings. Preservation. Incineration*

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento da quantidade de resíduos sólidos pode ser indicado como consequência das atividades sociais, de trabalho e disponibilidade de novas tecnologias fruto dos avanços e do crescimento populacional e do padrão de vida consumista das sociedades, sendo este aumento preocupante principalmente nos grandes centros urbanos. Relacionado ao consumo excessivo e ao descarte de materiais ressalta-se o incorreto gerenciamento da limpeza urbana bem como a disposição inadequada de rejeitos descartados juntamente com a falta de tratamento resultando na contaminação ambiental assim como o desperdício de material energético como parte considerável dos resíduos, sendo estes passíveis de reaproveitamento.

Nesse contexto, o desenvolvimento sustentável destaca-se como um dos grandes desafios mundiais. Henriques (2004) reforça a responsabilidade da sociedade quanto à indicação de alternativas menos impactantes ao meio ambiente, apresentando a necessidade de pesquisas de novas técnicas e tecnologias que possam auxiliar na disposição de resíduos. Da mesma forma, Mavropoulos (2010) apresenta métodos de reaproveitamento e o emprego da tecnologia de incineração como opção para a solução de questões relacionadas ao destino final dos resíduos sólidos urbanos. Logo, a utilização da técnica de incineração no tratamento dos resíduos sólidos urbanos mostra-se como alternativa plausível e importante a ser estudada e avaliada, pois trata-se de um processo no qual os resíduos são destruídos a partir do processo de combustão ocorrendo redução de peso, volume e periculosidade contribuindo assim para o aumento de vida útil dos aterros sanitários utilizados. Henriques (2004), apresenta informações sobre o desenvolvimento da tecnologia de incineração incluindo a modernização dos sistemas de controle e tratamento de gases poluentes, melhorando as condições de unidades baseadas no tratamento térmico de resíduos.

De acordo com o IBGE (2021), o município de Macaé tem uma população de cerca de 260 mil habitantes e produz uma quantidade de RSU de média de 6,6 mil toneladas por mês (SNIS, 2022). De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico (2021) do município de Macaé o dimensionamento futuro da população é uma importante base para subsidiar ações de planejamento. O plano apresenta as projeções demográficas, bem próximas ao apresentado pelo IBGE (2021), a partir de resultados provenientes de estimativas baseadas em pontos que podem interferir na evolução da gestão e atividades relacionadas ao planejamento urbano. O gráfico 1 apresenta a projeção da população para o período de 2020-2030 do município de Macaé.

## Projeção da População de Macaé (2020-2030)

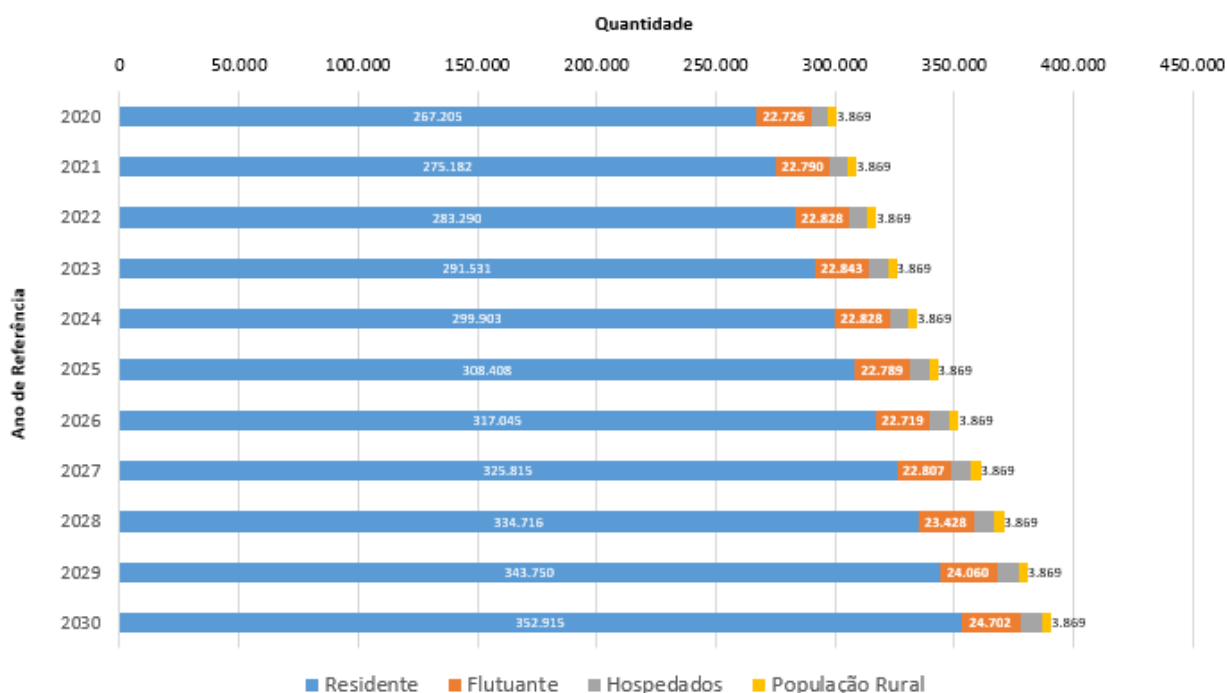


Gráfico 1 – Projeção da População de Macaé - PMGRS

Fonte: PMSB, 2021

Destaca-se a relação entre o aumento da população para os próximos anos e a indicação de quantidade de RSU gerados pelo município cerca de 80.000 toneladas (SNIS, 2022) anuais. De acordo com o Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos de Macaé/2012 (PMRS, 2012), os resíduos sólidos são enviados à Central de Tratamento de Resíduos (CTR), situado em Campos-Rio de Janeiro, localizado entre os Km 148 e Km 149, distante a 25 km do centro do município de Macaé, onde também se localiza o atual aterro sanitário, operando desde o ano de 2009 e funcionando atualmente 24 horas por dia para recebimento dos resíduos coletados. Este aterro é operacionalizado por uma empresa privada, que possui um contrato de prestação de serviços com a Prefeitura de Macaé. De acordo com consultas realizadas às secretarias de Ambiente e Sustentabilidade e Serviços Públicos do município de Macaé existe indicação para realização de um projeto para o terceiro aterro sanitário para realização de disposição dos resíduos devido ao crescimento populacional e o desenvolvimento econômico do município. Para Suzuki e Gomes (2009), apesar do envio de resíduos para aterros sanitários ser considerado uma prática legal de gerenciamento, este procedimento não deve ser uma iniciativa isolada, uma vez que a destinação final é apenas uma etapa do ciclo. Segundo os autores o gerenciamento adequado deve contemplar ações de redução, reutilização e reciclagem dos resíduos gerados. Cabe ressaltar a importância do envio de menor quantidade de resíduos aos

aterros sanitários, pois assim eles poderão atender por mais tempo à necessidade de confinamento seguro, poupando a utilização de novas áreas possibilitando assim a redução dos riscos à saúde e ao meio ambiente.

Desta forma, este trabalho tem por motivação o estudo de utilização do tratamento por incineração para diminuir o volume dos RSU enviado ao aterro sanitário bem como a promoção da destinação adequada dos resíduos sólidos e estímulo a pesquisa de técnicas com possível recuperação energética para o município de Macaé. Nesse sentido, o trabalho de pesquisa propõe a utilização do processo de tratamento térmico de incineração, considerando aspectos tecnológicos, sociais, ambientais, econômicos e legais para a redução, a sua menor fração, do volume de RSU gerado no município de Macaé/RJ com possível reaproveitamento energético dispondo apenas os rejeitos aumentando a vida útil dos aterros sanitários. Concomitantemente, serão discutidos de forma transversal ao assunto proposto a destinação dos resíduos sólidos urbanos no município, com ênfase para os aterros sanitários, considerando às leis vigentes e a documentação exigida, geração de energia e mitigação de impactos ambientais.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1. O Aproveitamento Energético dos RSU**

#### *2.1.1 – Fontes de Energia e Reaproveitamento*

As fontes de energia elétrica podem ser classificadas como renováveis e não-renováveis. As fontes de energia não-renováveis são aquelas que com indicação finita ou esgotável, como petróleo, carvão mineral, gás natural e nuclear. As energias renováveis são as consideradas inesgotáveis, por possuírem grande quantidade e se renovarem constantemente como exemplo a biomassa, eólica, solar e hídrica (EPE, 2014). A utilização de fontes de energias renováveis, quando comparadas a outras fontes energéticas, são consideradas a melhor opção em substituição dos combustíveis fósseis na geração de energia. Estas apresentam redução do uso de produtos derivados do petróleo ocasionando um menor impacto ambiental. Concomitantemente as fontes renováveis podem ser alternativas para geração de energia, em localidades distantes, devido à falta de combustíveis fósseis. Entretanto, sejam as fontes de energia renováveis ou não, devem ser aproveitadas de maneira econômica e sustentável, assegurando sua utilização de forma contínua e segura (GUARDABASSI, 2006). No contexto de energia renovável podemos aliar o aproveitamento dos RSU presentes nos

aterros sanitários para geração de energia através da queima (incineração) em prol de seu aproveitamento energético.

### *2.1.2 – Disposição e Tratamento dos RSU*

De acordo com D’Almeida (2000) são diversas as destinações para os resíduos sólidos urbanos existentes, entre as mais conhecidas temos:

- a) lixões e vazadouros como formas inadequadas de disposição final dos RSU, pois consiste em apenas despejar todo o resíduo sólido coletado sobre o solo, sem nenhuma medida de proteção a saúde pública e ao meio ambiente;
- b) aterros controlados tratando-se este de técnica que causa menos danos ou riscos à saúde pública, porém como não dispõe de impermeabilização na sua base tendo o risco de contaminação do solo e das águas subterrâneas ainda está presente e
- c) aterros sanitários sendo apresentado como alternativa com maiores vantagens se considerada a redução dos impactos ambientais. Nos aterros sanitários, o resíduo é colocado em solo impermeabilizado, o que impossibilita que o lençol freático seja contaminado com os líquidos residuais provenientes da decomposição da matéria orgânica presente nos RSU.

Destaca-se que para o primeiro aterro sanitário do Município de Macaé, situado na Rodovia Amaral Peixoto, localizado em Cabiúnas, teve sua vida útil abreviada. Em 1996 este aterro entrou em operação com indicação de projeto inicial para 15 anos sendo este projetado para destinação exclusiva de resíduos sólidos urbanos e outros resíduos com característica similares. A Secretaria do Meio Ambiente do Município informa que o aterro foi totalmente utilizado em um período menor que o projetado, cerca de 10 anos, sendo necessária a criação do 2º aterro sanitário do município, denominado Aterro Sanitário da Fazenda São Sebastião dos 40. Referente ao 2º aterro sanitário não foi possível identificar a área (quantidade) atualmente já utilizada, mas já se indica a necessidade de criação de um 3º aterro sanitário para o município.

Brito (2013) e Castro (2002) apresentam que além dos tipos de disposição apresentados, existem formas de tratamentos para esses resíduos, dentre elas:

- a) reciclagem como a reintrodução dos resíduos no processo produtivo gerando um novo produto. Porém, para que isto aconteça deve-se segregar e encaminhar estes resíduos para locais onde serão reaproveitados;
- b) compostagem, um processo de transformação bioquímica da matéria orgânica facilmente degradável (em condições controladas de aeração, temperatura e umidade) em um produto denominado de composto orgânico, que pode ser utilizado para aplicações no solo com a finalidade de melhoria da qualidade do mesmo e
- c) incineração sendo realizada por usinas de incineração de resíduos com conjunto de instalações necessárias para viabilizar o tratamento térmico dos resíduos, podendo apresentar várias concepções em função do tipo de combustível a ser incinerado, do volume e da tecnologia utilizada (GRIPP, 1998). Habitualmente as usinas ficam próximas de centros urbanos onde está a geração dos resíduos, o que requer uma avaliação das vias de acesso, das áreas disponíveis, do uso e ocupação do solo, das características socioambientais do local.

### *2.1.3 – Tratamentos Térmicos de RSU*

De acordo com Barreira, Freire & Rodrigues (2015) deve-se considerar que os aterros sanitários são indicados como unidades de disposição final, que de acordo com a PNRS devem receber somente rejeitos, logo os aterros sanitários não serão detalhados neste trabalho como alternativa tecnológica para o tratamento dos RSU. Os autores apresentam ainda a consideração que cada disposição dos RSU (orgânica, reciclável ou rejeito) deve ser verificado e receber tratamento preliminar, sendo recomendado assim a triagem.

Segundo Toccheto (2005), os objetivos dos tratamentos térmicos são destruir os componentes orgânicos, reduzir o volume dos resíduos e diminuir a geração de resíduos sólidos tóxicos em lixões e nos afluentes. Para Engebio (2010), no processo de tratamento térmico são gerados gases caloríficos (quantidade de energia por massa), podendo estes serem atribuídos como fonte de energia.

De acordo com Barttolomeu (2011) as tecnologias apresentam aspectos distintos, estas se tornam mais ou menos viáveis, a partir da indicação do objetivo. Fator importante no momento da decisão é escolher qual instalação de determinada tecnologia trará o melhor reaproveitamento energético sobre os resíduos sólidos bem como os aspectos ambientais.

Ressalta-se que a Lei nº 12.305 determina a busca de tecnologias e que estas tenham a finalidade de restauração energética de RSU, uma vez que se comprove a sua efetividade técnica e ambiental, juntamente com ações de monitoramento do lançamento de gases tóxicos aceitas pelas entidades ambientais (BRASIL, 2010). Posteriormente a portaria interministerial nº 274, de 2019, disciplinou a recuperação energética dos RSU em atendimento ao disposto no § 1º, do art. 9º, da Lei nº 12.305 de 2010 e no art. 37, do Decreto nº 7.404, de 2010. O art. 2º, inciso I, define Usina de Recuperação Energética de Resíduos Sólidos Urbanos – URE, como local destinado ao tratamento térmico de RSU com a sua recuperação de energia com a finalidade de diminuição de quantidade e periculosidade, de preferência agregada à produção de energia térmica ou elétrica (BRASIL, 2019).

Segundo Giz (2017), os aterros sanitários não são soluções finais para a necessidade de descarte de resíduos e sim transitórias. Estes não são meta final de gestão sustentável de resíduos e devem continuar dando prioridade à reciclagem. Para determinados resíduos não recicláveis, o Waste-To-Energy (WtE) pode ser uma alternativa viável, para atender o futuro aumento na quantidade de resíduos sólidos urbanos. Por exemplo o tratamento térmico por incineração ou coprocessamento, em conformidade com as normas ambientais para emissões, pode contribuir para destruição de substâncias orgânicas tóxicas. Acredita-se que as plantas de WtE são capazes de suprir parte da demanda de energia de uma localidade. Segundo Giz (2017) a experiência de países desenvolvidos mostra que estas tecnologias chegam a suprir uma pequena parte da demanda de energia de uma cidade (~5,00 %).

#### 2.1.3.1 – Combustível Derivado de Resíduos

O CDR ou combustível derivado de resíduos, é utilizado para alimentar fornos industriais. São utilizados equipamentos com capacidade de triturar resíduos em grande quantidade, sendo possível reaproveitar os resíduos não orgânicos e não recicláveis. Indica-se na prática a criação de uma nova cadeia de valor no momento de criação de combustível a partir dos resíduos. Para serem utilizados como matéria-prima os RSU ou resíduos industriais não-perigosos (classe II-A e II- B) passam por triagem e homogeneização mecânica para obtenção de melhor proporção entre materiais secos e úmidos.

#### 2.1.3.2 – Gaseificação

A definição de gaseificação é apresentada como a oxidação parcial de material carbonáceo sólido ou semissólido (biomassa, resíduos, carvão, etc.), em temperatura mediana e pressão variável, por reação com um agente gaseificante (ar, vapor d'água ou gás carbônico). Temos como produto



principal da gaseificação o gás combustível. Na primeira etapa são produzidos os gases combustíveis e, na segunda, estes gases são utilizados produzindo potência térmica ou elétrica (HERNÁNDEZ, BALLESTEROS E ARANDA, 2013). Em comparação a incineração, a gaseificação possibilita tratar e limpar o gás produzido antes da sua combustão, queimando-o em equipamento posterior (motor de combustão interna ou caldeira/turbina) possibilitando a remoção de substâncias antecessoras de poluentes perigosos, como as dioxinas e furanos. A gaseificação ainda é pouco utilizada para resíduos sólidos urbanos (LORA *et. al.*, 2008)

#### 2.1.3.3 – Pirólise

A pirólise conhecida como craqueamento na indústria do petróleo é um tratamento energeticamente autossustentável, já que não necessita energia externa, sendo atingido em seus sistemas temperaturas de até 3000°C, através de energia térmica, de combustíveis fósseis ou energia elétrica. O processo consiste na trituração dos resíduos previamente selecionados. Posteriormente, os resíduos são enviados para o reator pirolítico que através de uma reação endotérmica ocorrerão as separações dos subprodutos em cada etapa do processo (FILHO *et al.*, 2014).

A pirólise tem vantagens ambientais sendo estas a degradação térmica em atmosfera com menor nível estequiométrico de oxigênio, minimizando as emissões de dioxinas e furanos, promovendo a redução de volume e descaracterização do resíduo, garantindo assim melhor desempenho ambiental em comparação a outras tecnologias (FILHO *et al.*, 2014).

Embora seja considerado superior a outras tecnologias, tanto na eficiência térmica, quanto no controle de efluentes, estas unidades de tratamento ainda não estão em prática no Brasil, desta forma, não estão totalmente difundidas.

#### 2.1.3.4 – Arco de Plasma

Segundo Filho (2014), o plasma é um gás (oxigênio, nitrogênio, ar, etc.) ionizado a partir do seu aquecimento, que conduz eletricidade e que atinge temperaturas extremamente elevadas. De acordo com o autor o tratamento térmico de resíduos por plasma é o aquecimento dos resíduos pela aplicação de correntes elétricas formadas pelo plasma. A temperatura para a quebra molecular dos resíduos é produzida por eletricidade, sendo considerada então uma fonte limpa de energia. Os gases gerados possuem alto poder energético e podem ser utilizados por sistema de combustão para aproveitamento energético. Em testes realizados, foi observado que as emissões do processo de

tratamento por plasma ocorrem em volumes muito baixos e não possuem compostos tóxicos, como dioxinas e outros, visto que não há combustão dos resíduos (GUIMARÃES, 2009).

#### 2.1.3.5 - Incineração

As usinas de incineração de resíduos são o conjunto das instalações necessárias para viabilizar o tratamento térmico dos resíduos, podendo apresentar várias concepções em função do tipo de combustível a ser incinerado, do volume e da tecnologia utilizada (GRIPP, 1998). Habitualmente as usinas ficam próximas de centros urbanos onde está a geração dos resíduos, o que requer uma avaliação das vias de acesso, das áreas disponíveis, do uso e ocupação do solo, das características socioambientais do local.

A incineração utiliza em seu processo o oxigênio, podendo alcançar temperatura média de 950 ° C e os gases cerca de 1000 ° C, tornando a sua aplicação eficaz na maioria dos casos no processo de tratamento de resíduo sólido (BARTHOLOMEU et al., 2011). De acordo com Toccheto (2005), o uso de oxigênio alcança temperatura superior a 1000 °C, o que possibilita a decomposição da matéria orgânica, alterando seu estado físico, químico e biológico, resultado na “inertização” do material em forma de cinzas.

Dempsey et Oppelt (1987) dividem um sistema de incineração de resíduos em quatro subsistemas: 1) preparação e alimentação do resíduo; 2) câmara (s) de combustão; 3) controle dos poluentes atmosféricos e 4) manuseio das cinzas/resíduos. Essa configuração de usinas composta pelos quatro subsistemas também se aplica às unidades que utilizam os resíduos sólidos urbanos no processo.

As vantagens do método de incineração podem ser apresentadas como a) redução drástica do volume de resíduos, b) a recuperação de energia, c) a esterilização e d) a destoxicação. Também são apresentadas desvantagens e estas devem ser consideradas a) custos de instalação, b) operação e manutenção, c) emissão de poluentes (com possibilidade de controles) e d) possível perda de recicláveis, no caso de ser incinerado os resíduos em sua totalidade.

Em concordância com o que defende Gutberlet (2011), Morgado e Ferreira (2006) esses autores, concluíram que o processo da incineração diminui o volume dos resíduos em cerca de 90% e o peso a 15%, além de vantagem importante como a geração de energia elétrica a partir da incineração dos RSU. Garantindo também o tratamento sanitário e a destruição completa dos

componentes orgânicos, minimizando a presença de resíduos combustíveis nas cinzas (restos) e com o controle de poluentes atendendo as leis ambientais

#### *2.1.4 – Contexto Mundial e Nacional de Utilização de Incineração no Processo de Tratamento de RSU*

Em 1876 foi construído em Manchester (Inglaterra) o primeiro incinerador de RSU, este utilizado por um período de 27 anos. Cabe ressaltar que somente após a 2ª Guerra Mundial, observou-se aumento de utilização da tecnologia de Incineração, pois anteriormente visava-se a redução de massa e volume dos resíduos. De acordo com Henriques (2004) as instalações anteriores à 1950 caracterizavam-se como em estágio de evolução incipiente e ainda primário, se comparadas às plantas instaladas a partir de 1950.

Henriques (2004) indica a classificação de 4 (quatro) períodos distintos referentes a evolução da tecnologia de incineração:

- entre os anos de 1950 e 1965 → a tecnologia visava somente a redução do volume de resíduos sem a preocupação do controle de emissão de gases poluentes. A poeira gerada pela utilização da tecnologia, na época, chegava a 1.000 mg/Nm<sup>3</sup> enquanto nos dias atuais atingem a concentração de até 3 mg/Nm<sup>3</sup>. As principais unidades instaladas nesta fase foram as usinas de Lausanne (1959), Berna (1954) e Bruxelas (1957) (HENRIQUES, 2004);
- entre os anos de 1960 e 1970 → observa-se neste período um aumento no desenvolvimento da aplicação da tecnologia. Neste período são incorporados os primeiros sistemas de controle de gases poluentes que limitavam as emissões de gases na atmosfera para concentrações na ordem de 100 mg/Nm<sup>3</sup>. Destaca-se para o período os primeiros estudos relacionados a possibilidade de aproveitamento de energia térmica gerada pelo processo de incineração (HENRIQUES, 2004);
- entre os anos de 1975 e 1990 → período relacionado ao impulso de desenvolvimento da tecnologia e aumento de restrições ambientais relacionadas a emissão de gases poluentes. Neste período são estabelecidos requisitos rigorosos pelos Estados Unidos, Japão e países europeus que obrigam a adequação das instalações já existentes. A partir deste requisito, inúmeras plantas de incineração foram indicadas como “não conformes” levando ao encerramento de suas atividades. As plantas deveriam ser equipadas com tecnologia de instrumentação, automação e controle. Ressalta-se para

o período a possibilidade de geração de energia térmica e elétrica a partir do processamento de RSU sendo a mesma difundida como opção sustentável de geração de energia sustentável (HENRIQUES, 2004);

- a partir de 1990 → setores organizados da sociedade exigem maior controle de emissões atmosféricas sendo estabelecido como meta a “emissão zero”. Observa-se a preocupação relacionada a qualidade dos resíduos finais do processo de incineração indicando-se que as cinzas possam ser recicladas ou dispostas no meio ambiente. Com o desenvolvimento e sofisticação da tecnologia a mesma passa a envolver as etapas de pré-tratamento dos RSU visando melhorar o aumento do poder calorífico para geração de energia.

Segundo Russo (2003) a incineração de resíduos não biodegradáveis é utilizada por diversos países, principalmente aqueles que não possuem espaços físicos, como forma de redução do volume a ser destinado para deposição em aterros. Exemplo desses instrumentos na prática é a meta da União Europeia para resíduos urbanos: até 2030, 65,00 % de todos os resíduos municipais precisam ser reutilizados ou reciclados, com um máximo de 10,00% a ser depositado em aterro. O restante poderá ser considerado para incineração para recuperação de energia (WIEGO, 2019). Outra indicação é que das 122 milhões de toneladas estimadas de resíduos incinerados, em todo o mundo em 2016 (WEC, 2016), 99,00 % foram tratados em países da Europa, mas também no Japão e nos Estados Unidos da América.

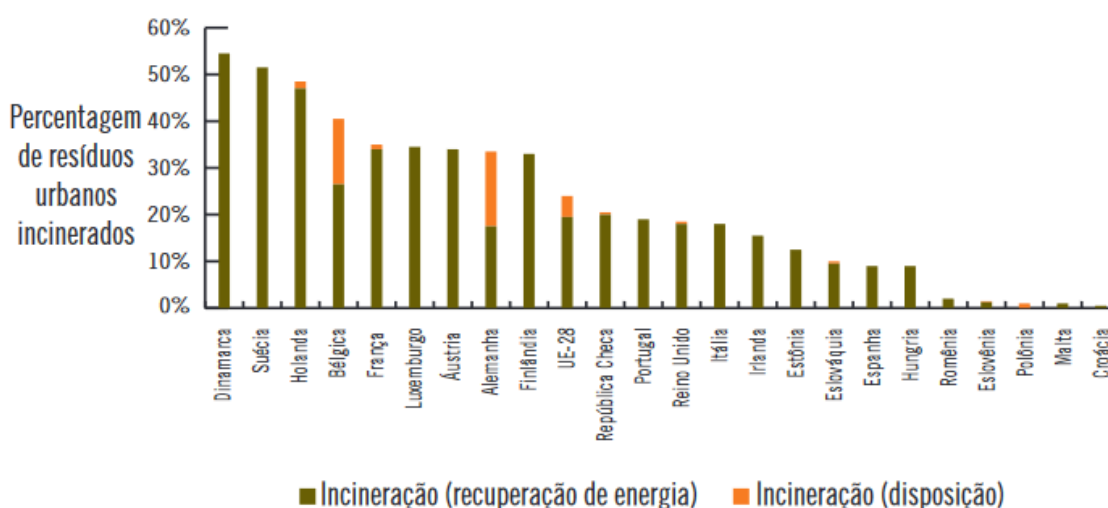


Gráfico 2 – Porcentagem de resíduos municipais incinerados em 28 estados membros da EU em 2012

Fonte: WIEGO, 2019

### 2.1.5 – Potencial de Geração de Energia dos RSU

Conforme citado por IPT/CEMPRE (1995), as usinas de incineração de lixo são diferentes dos demais serviços públicos pois geram a energia que poderá ser comercializada, obtendo assim receita para o município. Para Bizzo *et* Goldstein (1995), o objetivo principal da incineração é a disposição do lixo, sendo a produção e venda da energia elétrica um subproduto, que irá, sem dúvida, diminuir os custos da incineração e da destinação a aterros.

A Tabela 1 apresenta o poder calorífero de materiais normalmente encontrados em RSU. Ressalta-se que para os resíduos sólidos em que predominam orgânicos, estes tendem a apresentar menor valor calorífico.

Tabela 1 – Poder Calorífero de Materiais Encontrados em RSU

MATERIAL	kcal/kg
Plásticos	6.300
Borracha	6.780
Couro	3.630
Têxteis	3.480
Madeira	2.520
Alimentos	1.310
Papel	4.030

Fonte: OLIVEIRA (2004)

Oliveira (2004) indica que a partir dos valores apresentados deve ser considerado que:

- para valores < 1.675 kcal/kg, a incineração não é tecnicamente viável (além de dificuldades técnicas, exige ainda a adição de combustível auxiliar);
- para valores entre 1.675 kcal/kg e 2.000 kcal/kg, a viabilidade técnica da incineração ainda depende de algum tipo de pré-tratamento que eleve o poder calorífico;
- para valores > 2.000 kcal/kg, a queima bruta (“*mass burning*”) é tecnicamente viável.

A redução do volume de resíduos enviados a aterros sanitários é uma das principais vantagens da incineração. Conforme indicado a incineração reduz o volume dos resíduos depositados entre 85 e 90% do volume original e não impede a recuperação de metais recicláveis contidos no volume

indicado. De acordo com Rand (*et al* 2000) é importante lembrar que apesar do processo de incineração ser uma alternativa viável este é um processo emissor de dioxinas e exige cuidados especiais no tratamento dos gases de exaustão e as cinzas produzidas na incineração também contém diversos poluentes. Oliveira (2004) ressalta que apesar da emissão de poluentes, são utilizadas tecnologias para o controle da poluição tais como emprego de equipamentos do tipo filtros, precipitadores eletrostáticos e lavadores a fim de realizar o controle de emissão de gases. Reforça-se aqui que a reciclagem contribui para a redução da demanda de fontes naturais de matéria prima, bem como a demanda de energia, na maioria das vezes indicadas como “não renováveis”, necessária para a transformação de produtos.

Arafat, Jijakli e Ahsan (2015) apresentam estudo relacionado ao potencial de produção de energia e o impacto ambiental relacionado a cinco processos de tratamento de RSU, juntamente aos processos são aplicados a seis indicações de resíduos específicos. Os processos são a) incineração, b) gaseificação, c) digestão anaeróbia, d) aterro sanitário e e) compostagem, sendo os resíduos apresentados alimentos, jardins, plásticos, papéis, madeira e têxteis. O referido estudo também apresenta a comparação com o processo de reciclagem (produção de energia versus conservação de energia), onde pode observado, quando aplicável, para cada fluxo específico. Foi possível observar, em relação a recuperação energética os seguintes pontos:

- é melhor reciclar plásticos, papéis e madeira;
- digerir anaerobicamente resíduos de alimentos e jardins e
- e incinerar resíduos têxteis.

Segundo Giz (2017), o aterro sanitário é uma solução intermediária ou transitória, uma necessidade para o descarte de resíduos. Esta indicação não deve ser considerada como meta final da gestão sustentável de resíduos. Salienta-se que os Sistemas de Gerenciamento de RSU devem dar continuidade e priorização à reciclagem. Como já mencionado e ratificado (GIZ, 2017) a separação, coleta, transporte, tratamento e descarte de RSU é um dos principais objetivos dos países em desenvolvimento. Mesmo com o progresso na reciclagem de materiais (plásticos, papéis, metais, vidros), os níveis ainda são insuficientes. Destaca-se então a indicação que para alguns fluxos de resíduos não recicláveis, a incineração e geração de energia poderá ser indicada como alternativa viável a fim de atender o futuro aumento na quantidade de resíduos gerados. Apresentando-se neste momento a possibilidade de tratamento térmico como a incineração, em conformidade com as

normas ambientais para emissões, podendo contribuir para a geração de energia bem como a destruição de substâncias tóxicas.

### **3. METODOLOGIA**

Para este trabalho de pesquisa utilizou-se a metodologia exploratória descritiva, a partir da natureza aplicada, a fim de serem realizadas abordagens qualitativas (GIL, 2019) para levantamento de dados a serem utilizados na elaboração de sugestão de utilização do processo de incineração e alternativa na gestão de resíduos sólidos urbanos no município de Macaé – RJ.

A pesquisa fundamentou-se em levantamento bibliográfico sobre processos de incineração de resíduos sólidos urbanos, com aproveitamento energético, e respectivos sistemas de controle gerenciamento integrado dos RSU com base na coleta seletiva e disposição final.

Em termos metodológicos, uma investigação foi conduzida por meio da análise de artigos publicados nos indexadores Periódico CAPES, Google Acadêmico, sendo observados 22 artigos relacionados ao assunto proposto sendo considerados 16 a partir de representação de afinidade com a pesquisa. Na etapa de pesquisa foram utilizados os termos “descarte”, “reaproveitamento”, “leis”, “regulamentação” e “energia” como operadores booleanos para obtenção dos referidos artigos. Para realização do levantamento de dados e delimitação do estudo, foram realizadas consultas às informações disponíveis no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2021) não sendo obtido, para alguns itens, dados oficiais da Prefeitura do Município de Macaé. Além de consultas à documentos públicos foram realizadas visitas à Secretaria de Obras de Macaé (Semob), Secretaria de Ambiente e Sustentabilidade (Sema), Secretaria Municipal de Serviços Públicos (Semusp) do Município de Macaé/RJ bem como consulta ao Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PMGRS, 2012) do município de Macaé. Portanto foi realizado o aprofundamento de dados chamados não-mensuráveis, resultando assim em uma pesquisa qualitativa focada em ponto de vistas em pesquisas.

## **4. RESULTADO E DISCUSSÃO**

### **4.1 – A Utilização de Incineração de Resíduos Sólidos no Brasil**

O primeiro incinerador de RSU foi instalado no Brasil em 1896, em Manaus. Os dados relacionados ao equipamento indicavam que o mesmo tinha capacidade de processar 60 t/d. O equipamento foi desativado após 62 anos de utilização por motivo de problemas relacionados a

manutenção. Pelo mesmo motivo outro incinerador foi desativado em 1978 em Belém (HENRIQUES, 2004).

Henriques (2004) destaca que em 1949 foi instalado um incinerador com capacidade de 200 t/dia no bairro de Pinheiros em São Paulo sendo este operado por 40 anos. Outros dois incinerados foram instalados na cidade de São Paulo (Ponte Pequena e Vergueiro) respectivamente nos anos de 1959 e 1968 tendo estes a capacidade de 300 t/dia. Estes incineradores não atenderam aos padrões ambientais impostos pela legislação vigente e a partir do ano 2000 tiveram suas atividades desativadas (HENRIQUES, 2004).

A administração da cidade de São Paulo, em 1994, previa a construção de dois grandes incineradores, com capacidade de processamento de 2.500 t/d cada. Foram verificadas dificuldades relacionadas a viabilidade técnica e econômica, destacando-se a indefinição quanto às fontes e o valor de remuneração dos serviços prestados bem como à oferta de garantias ao empreendedor pela concessão de serviços de longo prazo. Também foi indicada forte pressão exercida por parte da opinião pública, baseada em receio quanto aos impactos ambientais do projeto (HENRIQUES, 2004).

Apesar dos receios e pressões apresentadas existem evidências que a incineração de RSU é mais vantajosa do que a o envio dos resíduos sólidos aos aterros em relação a diversas questões ambientais (LEME *et al.*, 2014). Esta alternativa também é recomendada pela PNRS quando aplicada em associação com tecnologias de recuperação de energia. No Brasil, a incineração tem crescido quando se trata de resíduos sólidos de saúde, absorvendo, como destinação final, 40,2% dos resíduos gerados em 2019. Houve um aumento da capacidade instalada, que passou de 58.874 para 196.262 toneladas por ano, cerca de 330% em 10 anos (ABRELPE,2020).

De acordo com Magagnin Filho (2015) a adoção de tecnologias que visem o reaproveitamento dos resíduos vem cada vez mais ganhando espaço, objetivando a redução de custos e o atendimento às legislações, sendo tendência mundial aproveitar os resíduos urbanos para a geração de energia. Já no Brasil não existem projetos representativos que promovam a reciclagem, o que contribuiria para equacionar dois problemas: o ambiental, com o tratamento dos resíduos, e o de geração de energia.

Importante salientar que as plantas de incineração requererem sistemas eficientes de tratamento e de controle de gases e que os custos relacionados a estes processos são elevados o que pode dificultar sua implantação em países em desenvolvimento. Leme *et al.* (2014) ressalta que são



identificadas alternativas para a redução do perigo associado às emissões ao longo do processo e que esta vem sendo verificadas nos últimos anos, especialmente considerando tecnologias acessíveis economicamente, a fim de garantir que estes projetos sejam viáveis em regiões de menor capacidade financeira.

#### 4.2 – O Município de Macaé – Tratamento e Destinação Final de RSU

A lei Nº 12.305/2010 traz importante avanço em relação às questões dos resíduos sólidos, estes considerados como problemas estratégicos no que tange ao social e o ambiental sob a responsabilidade da gestão municipal e no seu desenvolvimento urbano. Um dos objetivos gerais indicados na PNRS (2010), baseados no Art. 7º da lei, é o controle e acompanhamento na “geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”. Ressalta-se que a lei Nº 12.305/2010 indica que sejam desenvolvidos instrumentos de gerenciamento em formato de planos de resíduos sólidos em âmbitos nacional, estadual, microrregional, intermunicipal, municipal e industrial, sendo destacado para este artigo o “Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos”. Conforme disposto no Art. 7º da lei e em atendimento ao mesmo, o município de Macaé desenvolveu seu Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos – PMGRS (2012) com dados e informações sobre a geração, tratamento e reciclagem dos resíduos sólidos urbanos gerados no município.

O Art. 19 da PNRS (2010) lista, em tópicos itens que devem constar no plano municipal de gerenciamento de resíduos sólidos como conteúdo mínimo. O item “diagnóstico da situação dos resíduos sólidos gerados no respectivo território, contendo a origem, o volume, a caracterização dos resíduos e as formas de destinação e disposição adotadas” é ressaltado neste capítulo como referência ao levantamento de dados necessários. Apesar do PNRS indicar a necessidade de informação atualizada sobre os resíduos sólidos gerados pelo município, Macaé não realiza a atualização destas informações desde o ano de 2012 quando apresentou seu PMGRS. O PMGRS (2012) do município de Macaé apresenta, em seu capítulo II, um diagnóstico da situação com dados relacionados aos resíduos sólidos coletados nos anos de 2011 e 2012 (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2 – Geração Mensal dos Resíduos Gerados em Macaé-2012

Ano 2011	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
Total (t)	6.298	6.475	7.091	5.779	6.009

Fonte: PMGRS (2012, p. 46)

Tabela 3 – Geração Mensal dos Resíduos Gerados em Macaé-2011

Ano 2011	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
<b>Total (t)</b>	Não apresentado	5.390	5.688	5.955	6.183	4.959	5.130	6.009	4.938	4.873	5.198	6.695

Fonte: PMGRS (2012, p. 46)

Referente a caracterização quantitativa, o PGMRS do município de Macaé apresenta no mesmo capítulo (PGMRS, 2012, p. 49) a distribuição conforme Tabela 4:

Tabela 4 - Caracterização quantitativa e distribuição em Macaé-2011

Tipo Resíduos	Domiciliar	Comerciais	Públicos	Serviço de Saúde	Coleta Seletiva
Quantidade (%)	83,12	8,56	5,35	0,72	2,29

Fonte: PMGRS (2012, p. 49)

Ratifica-se neste ponto que, no referido documento (PGMRS,2012), não é apresentada a estratificação dos tipos de resíduos (borracha, couro, têxteis, madeira, alimentos e papel) coletados bem como as suas respectivas quantidades, sendo estes dados importantes para elaboração de cálculos e verificações de potencial de geração de energia a partir dos RSU. Em paralelo a consulta realizada ao PGMRS (2012) do município de Macaé foram realizadas pesquisas ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022) a fim de ser verificada a série história de dados. Nas pesquisas realizadas foi possível observar que o município de Macaé não dispõe de dados históricos em relação à geração de resíduos sólidos, acompanhamento recentes referente a produção ou registros de informações destes.

Conforme descrito pela FIRJAN (2021) “municípios com grande concentração populacional não declararam qualquer informação ao SNIS, de forma que não há informações oficiais sobre o volume de resíduos gerido por eles no ano de 2019”. Ratificado que nos últimos cinco anos, dois municípios que geram mais de 100t/dia enviaram suas informações apenas uma única vez: Macaé (2019) e Teresópolis (2018) (FIRJAN, 2021). Apesar de não ser possível obter dados recentes e históricos sobre a quantidade de RSU dispostos nos aterros sanitários do município de Macaé observa-se como destaque a produção, em 2012, média de 5.547 toneladas de RSU. Acompanhando dados já disponibilizados pelo PGMRS (2102) do município de Macaé, este indica um grande crescimento populacional para os períodos de 2020-2030.

O estudo realizado pela FIRJAN (2021) indica o Estado receptor Norte Fluminense, onde está localizado o município de Macaé, como um dos grandes grupos receptores de resíduos conforme apresentado tabela 5.

Tabela 5 - Resíduos recebidos por região do estado do Rio de Janeiro por tipo

Estado receptor	Resíduos recebidos (em toneladas)					Total
	Metal	Papel e papelão	Plástico	Vidro	Mistura	
Baixada - Caxias e Região	11.335	8.407	7.938	332	40.139	68.152
Baixada - Nova Iguaçu e Região	2.948	866	7.675	301	90.502	102.291
Capital - Rio de Janeiro	21.236	19.211	8.872	113.442	356.180	518.941
Centro-Norte Fluminense	374	130	61	5	6.567	7.137
Centro-Sul Fluminense	117	160	152	16	4.054	4.499
Leste Fluminense	1.094	1.241	6.775	89	72.425	81.624
Noroeste Fluminense	11	279	285	0	2.494	3.070
Norte Fluminense	5.127	1.674	1.778	162	45.920	54.660
Serrana Fluminense	5	40	103	0	88	237
Sul Fluminense	7.268	8.223	3.083	120	11.941	30.636
<b>Total</b>	<b>49.517</b>	<b>40.232</b>	<b>36.723</b>	<b>114.466</b>	<b>630.309</b>	<b>871.246</b>

Fonte: FIRJAN (2021, p. 14)

Outros dados importantes são apresentados na tabela 6 (FIRJAN, 2021). Observa-se quantidade expressiva de resíduos gerados e recebidos por cada região do estado do Rio de Janeiro.

Tabela 6 - Resíduos gerados e recebidos por região do estado do Rio de Janeiro por tipo

		Resíduos gerados e recebidos (em toneladas)					
		Metal	Papel e papelão	Plástico	Vidro	Mistura	Total
Baixada - Caxias e Região	Gerados	5.286	6.931	18.040	2.880	206.986	240.123
	Recebidos	11.335	8.407	7.938	332	40.139	68.151
Baixada - Nova Iguaçu e Região	Gerados	8.775	3.031	1.475	59	57.862	71.202
	Recebidos	2.948	866	7.675	301	90.502	102.292
Capital - Rio de Janeiro	Gerados	26.384	15.367	10.162	13.916	244.985	310.814
	Recebidos	21.236	19.211	8.872	113.442	356.180	518.941
Centro-Norte Fluminense	Gerados	1.429	196	300	495	3.000	5.420
	Recebidos	374	130	61	5	6.567	7.137
Centro-Sul Fluminense	Gerados	79	347	232	19	7.951	8.628
	Recebidos	117	160	152	16	4.054	4.499
Leste Fluminense	Gerados	10.406	2.677	1.683	181	37.806	52.753
	Recebidos	1.094	1.241	6.775	89	72.425	81.624
Noroeste Fluminense	Gerados	0	555	265	5	2.101	2.926
	Recebidos	11	279	285	0	2.494	3.069
Norte Fluminense	Gerados	11.323	3.087	2.627	322	45.703	63.062
	Recebidos	5.127	1.674	1.778	162	45.920	54.661
Serrana Fluminense	Gerados	277	442	425	1.111	4.792	7.047
	Recebidos	5	40	103	0	88	236
Sul Fluminense	Gerados	1.285	10.954	3.475	288	19.889	35.891
	Recebidos	7.268	8.223	3.083	120	11.941	30.635

Fonte: FIRJAN (2021, p. 18)

A partir dos dados em destaque, apesar da falta de informações específicas para o município de Macaé, tornou-se viável apresentar proposta auxiliar, pelo método de incineração, para tratamento de RSU com ganhos energéticos para o município.

### 4.3 – A Incineração como Proposta Auxiliar para Tratamento de RSU no Município de Macaé e Geração de Energia

O Ministério de Meio Ambiente (BRASIL, 2017) destaca que a geração de energia proveniente dos RSU possui como principais vantagens:

- I. Equipamentos e insumos necessários para sua produção são de origem nacional e, por este motivo, cotados em moeda brasileira;

- II. Alta demanda de mão-de-obra, a partir de necessidade de triagem do lixo, para obter biomassa residual e reciclável;
- III. Disponibilidade, junto aos consumidores, o que reduz o custo de transporte, seja da energia ou do combustível e
- IV. Contribuição para a redução da poluição.

De acordo com Cardozo (2019) por se tratar de um processo exotérmico, a combustão dos resíduos libera energia térmica, a qual pode ser aproveitada como vapor ou eletricidade. As plantas de incineração podem realizar à recuperação energética em forma de calor, energia elétrica ou a combinação destes dois. Neste contexto são inseridas as usinas de WtE, estas conhecidas por utilizarem a incineração de resíduos sólidos urbanos para a produção de energia elétrica ou aquecimento através do vapor produzido no processo.

A recuperação energética de resíduos é utilizada em todo o mundo, somente nos países da Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico (OCDE) são cerca de 2 mil plantas, e nos 28 países-membros da União Europeia, aproximadamente 460 plantas de WtE apresentaram informações sobre tratamento de 65 milhões de tons/ano em média. Já na América do Norte, 85 plantas tratam quase 16 milhões de tons/ano de resíduos (ISWA, 2018). Na Coreia do Sul, 35 plantas WtE em operação tratam 3 milhões de tons/ano; o Japão possui uma estrutura ligeiramente diferente de cerca de 1.100 plantas de WtE que tratam 35 milhões de tons/ano, o que dá uma média de 30 mil tons/ano de capacidade por planta.



Figura 1 – Plantas WtE localizadas ao redor do mundo

Fonte: Waste Atlas. Disponível em: <<http://www.atlas.d-watse.com/>>

De acordo com o CNI (2019) um estudo de “pré-viabilidade” é o primeiro passo para selecionar e indicar a possibilidade de utilização de tecnologias de reaproveitamento dos resíduos sólidos urbanos para geração de energia. São elaborados critérios para seleção do tipo de tecnologia de processamento a ser empregada. Alguns critérios são apresentados a seguir de forma simplificada e suas relações com o município de Macaé:

1. Quantidade gerada de rejeitos

Apesar do município de Macaé não disponibilizar histórico de dados de rejeitos gerados (SNIS, 2022) apresenta-se indicação de grande crescimento populacional (PMSB, 2021) entre os anos de 2020-2030 onde é possível inferir um grande aumento na quantidade de rejeitos gerados. Conforme observado (FIRJAN, 2021) há quantidade expressiva de resíduos gerados e recebidos pelas cidades Norte Fluminense do estado do Rio de Janeiro.

2. Características dos resíduos (físicas e químicas)

O município de Macaé em seu PGMRS (2012) não apresenta a estratificação dos tipos de resíduos coletados bem como as suas respectivas quantidades, porém indica o percentual de 83,12% (PGMRS, 2012, p. 49) dos resíduos como domiciliares o que em suas características básicas atendem o critério para incineração de valores  $> 2.000$  kcal/kg onde a queima bruta é tecnicamente viável (OLIVEIRA, 2004).

3. Aceitação social

A Secretaria de Meio Ambiente (Sema) do município de Macaé apresenta um portfólio de programas relacionados ao tratamento de alguns itens de reciclagem tais como Recicle seu Óleo, Coleta de Resíduos Eletrônicos, Coleta e Destinação de Pneus. Apesar dos programas não apresentarem um crescimento contínuo relacionado a suas propostas a comunidade do município de Macaé já apresenta uma consciência inicial e aceitação sobre a necessidade de reciclagem e reaproveitamento de seus resíduos sólidos.

4. Mercado consumidor para os produtos

Com o novo ciclo de desenvolvimento a “Cidade Energia”, o município de Macaé, é apontado como um ótimo caminho para ampliação de negócios para as

novas empresas que chegam ao município. Segundo o atual prefeito do município de Macaé (Macaé, 2022) a implantação de projetos como as novas termelétricas, além do Terminal Portuário de Macaé (Tepor) e a nova Unidade de Processamento de Gás Natural (UPGN) da cidade disponibilizará mais emprego, desenvolvimento e qualidade de vida dos cidadãos. *“Macaé é o maior produtor de energia com tecnologia de alta qualidade e temos trabalhado para que novos investimentos venham para o município, tendo como marco um novo mercado consumidor.”*

#### 5. Capital de investimento

De acordo com notícia veiculada no site da Prefeitura de Macaé (2022) *“os indicadores econômicos que consolidam o principal e mais favorável ambiente de negócios do Estado do Rio de Janeiro garantem a Macaé a participar na nova edição do Índice de Concorrência dos Municípios (ICM), um projeto desenvolvido pelo Ministério da Economia com objetivo de atrair investimentos internacionais em diferentes segmentos no Brasil.”* O ICM é uma ferramenta criada pelo Ministério da Economia que, neste ano de 2022, alcança 119 municípios brasileiros com população acima de 250 mil habitantes, correspondendo a 43,00% da população nacional. No Estado do Rio de Janeiro, Macaé compõe a lista de 10 cidades que participam desta iniciativa, sendo a principal referência em negócios voltados ao segmento de óleo, gás e energia. De acordo com Rodrigo Vianna (Macaé, 2022), Secretário de Desenvolvimento Econômico do município de Macaé, *“o desenvolvimento de todo o governo neste projeto é fundamental para que Macaé faça parte do mapa de indicadores que será referência para empresas mundiais em diversos segmentos. É uma oportunidade única para a cidade que, sem dúvidas, concentra as principais oportunidades de desenvolvimento, não só no Estado, mas em todo o país.”*

#### 6. Localização e Disponibilidade de área

Hoje o município de Macaé possui a Central de Tratamento de Resíduos (CTR) localizada entre os Km 148 e Km 149, distante a 25 km do centro do município de Macaé, onde também se localiza o 2º aterro sanitário este com disponibilidade de espaço para a criação de uma unidade de tratamento de WtE.

## 5. CONCLUSÃO

Esta pesquisa foi desenvolvida visando apresentar o processo de incineração de resíduos sólidos urbanos como tratamento para redução do volume destes tipos de resíduos enviados ao aterro sanitário com foco especial para indicação deste tipo de tratamento como proposta auxiliar para o município de Macaé, abordando os benefícios e possíveis desafios associados redução do volume de resíduos sólidos urbanos e possível geração de energia, como também a importância dos processos de tratamento e os potenciais impactos ao meio ambiente.

Foi observado que uma das principais vantagens do tratamento de resíduos sólidos urbanos através do processo de incineração é a redução do volume entre 85 e 90% dos resíduos bem como o aumento da vida útil dos aterros sanitários, estes com altos custos sejam eles relacionados a sua operação, degradação ambiental e problemas sociais. O município de Macaé está com seu segundo aterro sanitário em operação, sendo indicado no primeiro aterro sanitário a ocorrência da redução de vida útil em cerca de 10 anos por motivo de grande volume enviado. O município apresenta possibilidade de criação de um terceiro aterro sanitário a partir de indicações do crescimento populacional no período de 2020-2030 (PMSB, 2012) sendo o tratamento de incineração dos resíduos sólidos uma solução para a redução de volume apresentando possível aumento de vida útil deste aterro sanitário bem como a possível geração adicional de energia para o município.

Embora no Brasil o tratamento de incineração de resíduos sólidos não seja amplamente utilizado e também um pequeno número de cidades utilizem incineradores de resíduos, observou-se que esta tecnologia é bastante utilizada por países-membros da União Europeia, Japão e Estados Unidos e que as plantas de *Wast-to-Energy* (WtE) ao redor do mundo utilizam a incineração para realizar a recuperação energética em forma de calor, energia elétrica ou a combinação destes dois.

Cabe ressaltar que o aproveitamento de resíduos sólidos urbanos como possível fonte energética apresenta vantagens relacionadas a diversificação da matriz energética com a possibilidade de proximidade do centro gerador de resíduos, estes utilizados como combustível para geração de energia. No entanto é importante destacar que o município de Macaé apesar de disponibilizar seu Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos – PMGRS (2012) e o Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB (2012) em atendimento ao PNRS (2010) não apresenta dados históricos em relação à geração de resíduos sólidos e acompanhamento recentes referente a produção destes resíduos (SNIS, FIRJAN, 2022).



Apesar da impossibilidade de obtenção de dados quantificáveis para realização de cálculos foi apresentada, como proposta, a implantação de uma *Wast-to-Energy* (WtE) com tratamento de incineração no município de Macaé. A partir de verificação preliminar de atendimento, pelo município de Macaé, aos principais pontos do chamado estudo de “pré-viabilidade” apresentado pelo CNI (2019) pelos itens a) quantidade geradas de rejeitos, b) características dos resíduos (físico e químicos), c) aceitação social, d) mercado consumidor para os produtos, e) capital de investimento, f) localização e disponibilidade de área foi possível observar que o município de Macaé atende inicialmente a possibilidade de desenvolvimento do projeto. Portanto, a reciclagem dos resíduos é uma grande ferramenta de sustentabilidade, pois está diretamente relacionada a gestão de resíduos ressaltada pela PNRS. A possível valoração dos resíduos sólidos e os ganhos gerados a partir da reciclagem correspondem a um importante pilar econômico bem como a redução de emissão de poluentes durante o transporte e o alívio da carga (volumes) sobre os aterros sendo relacionado ao pilar ambiental e a possibilidade de inserção de indivíduos no mercado de trabalho formal (trabalhadores da área de reciclagem) relacionado a cadeia produtiva indicado no pilar social.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAFAT H. A., JIJAKLI K., AHSAN A. Environmental performance and energy recovery potential of five processes for municipal solid waste treatment. *Journal of Cleaner Production*, pag. 233 a 240, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (Abrelpe). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*. 2020

BARREIRA, L.P.; FREIRE, E.P.; RODRIGUES, M.S. Avaliação da influência dos sistemas de pré-tratamento dos resíduos na eficiência energética dos materiais-base para usinas de recuperação energética (URE). Relatório Final do Projeto P&D ANEEL Chamada 14 Estudo da geração em ciclo combinado a partir de biogás e resíduos sólidos. 2015

BARTHOLOMEU, D. B. et al. *Logística ambiental de resíduos sólidos*. São Paulo: Atlas S.A., 2011. 250 p

BIZZO, W; GOLDSTEIN Jr., L. Incineração de lixo urbano com geração de energia elétrica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 2., 1995, Campinas. Anais ... Campinas: Unicamp, 1995. 6 p.

BRASIL. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a Educação Ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. DF, 1999. 1p. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Brasília, DF: [s.n.], 2007. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm) > Acesso em: 15 out. 2021.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 de Ago.de 2010.

BRASIL, 2017, Ministério do Meio Ambiente, Manual de Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos, Brasília, 2017

BRITO, A.P. Análise econômica preliminar da implantação de incinerador de resíduos sólidos urbanos na região de Bauru / Adailton Pereira de Brito, 2013 85 f.

CASTRO, J. N. C.; NASCIMENTO, N. Reciclagem: mais que um simples dever, uma grande necessidade. In: Jornada de Iniciação Científica e Pós-Graduação, Guaratinguetá, 2002.

CARDOZO, B. C. Análise do Monitoramento Ambiental da Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos na Europa. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2019

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DAS INDUSTRIAS, Recuperação Energética de Resíduos Sólidos – Um Guia para Tomadores de Decisão , 2019 - Brasília

D'ALMEIDA, M. L.; VILHENA A. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. 2 ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. 370p.

DEMPSEY, C. R.; OPPELT, E. T. Incineração de resíduos perigosos: uma revisão crítica atual. Traduzido por Milton Norio Sogobe. São Paulo: CETESB/EET, 1987. 80 p. Título original: Incineration of hazardous waste: a critical review update

EPE, 2008. Empresa de Pesquisa Energética - EPE. “Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande”. Nota Técnica DEN 06/08. Rio de Janeiro, Brasil

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

ENGEBIO. Estado da arte do tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica. 2. ed. Minas Gerais: Feam, 2010.

FILHO, A. T.; FERREIRA, A. F. M.; Melo, G. C. B. de; LANGE, L. C. Tratamento de Resíduos de Serviços de Saúde pelo processo de pirólise. Engenharia Sanitária Ambiental, v.19 n.2, abril/junho 2014, 187-194.

FIRJAN – SENAI, SESI, IEL & CIRJ – Mapeamento dos Fluxos de Recicláveis Pós-Consumo no Estado do Rio de Janeiro – Expediente Set. 2021, 31 p.

GIZ - DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT. Opções em Waste-to-Energy na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos: Um guia para tomadores de decisão em países emergentes ou em desenvolvimento. Eschborn, 2017.

GUARDABASSI, P. M. Sustentabilidade da biomassa como fonte de energia perspectivas para países em desenvolvimento. 2006. 123p. Tese (Mestrado) - Energia. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

GUIMARÃES, A.M.F. Desenvolvimento de um sistema de automação para uma planta de inertização de um resíduo por plasma. UFRN – Centro de Tecnologia. Natal, 2009.

GUTBERLET, J. O custo social da incineração de resíduos sólidos: recuperação de energia em detrimento da sustentabilidade. Revista Geográfica de América Central Número Especial EGAL, 2011, Costa Rica II Semestre, 2011

GRIPP, W. G. Aspectos técnicos e ambientais da incineração de resíduos sólidos urbanos: considerações sobre a proposta para São Paulo. São Carlos: 1998. 208 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998

HENRIQUES, R. M.; BASTOS O. L.; OLIVEIRA C., A., 2004. Geração de Energia com Resíduos Sólidos Urbanos Análise Custo Benefício.

HERNÁNDEZ, J. J.; BALLESTEROS, R.; ARANDA, G. Characterization of tars from biomass gasification: Effect of the operating conditions. *Energy*, v. 50. 2013.

ISWA. Circular economy: energy & fuels. 2018. v. 5. Disponível em: <[https://issuu.com/ramboll/docs/iswa\\_circular\\_economy](https://issuu.com/ramboll/docs/iswa_circular_economy)>. Acesso em: 19 jul . 2022.

LEME, M. M. V.; ROCHA, M. H.; LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J.; LOPES, B. M.; FERREIRA, C. H. Techno-economic analysis and environmental impact assessment of energy recovery from Municipal Solid Waste (USW) in Brazil. *Resour. Conserv. Recycl.*, v. 87 p. 8-20, 2014.

LORA, E.E.S.; ANDRADE, R.V.; SANCHEZ, C.G.; GÓMEZ, E.O.; SALES, C.A.V.B. Gaseificação. In: CORTEZ, L.A.B; LORA, E.E.S.; GOMEZ, E.O. (Org). Biomassa para energia. Editora da UNICAMP, Campinas, SP, 2008

LIMA, J. D. Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil. João Pessoa: ABES. 2002.

MACAÉ, 2022, Secretaria de Comunicação da Prefeitura Municipal de Macaé (Secom) – Institucional, Indicadores de Macaé são referência para projeto do Ministério da Economia, Disponível em: < <https://macae.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/indicadores-de-macae-sao-referencia-para-projeto-do-ministerio-da-economia>>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

MACAÉ, 2022, Secretaria de Comunicação da Prefeitura Municipal de Macaé (Secom) – Institucional, Empresa norueguesa quer investir em nova rota do gás em Macaé, Disponível em: < <https://macae.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/empresa-norueguesa-quer-investir-em-nova-rota-do-gas-em-macae>>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

MORGADO, C. T & FERREIRA, O. M (2006). Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos, Aproveitamento na Co-Geração de Energia. Estudo Para a Região Metropolitana de Goiânia. Goiânia: 2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Informação Populacional e Densidade Demográfica, 2021. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/macae/panorama>>. Acesso em: 10 Jul 2021.

IPT, CEMPRE. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: 1995. 278 p.

MACAÉ, 2020, Secretaria de Ambiente e Sustentabilidade da Prefeitura Municipal de Macaé (Sema) – Institucional, Disponível em: < <http://www.macaerj.gov.br/sema/conteudo?id=2542>>. Acesso em: 08 mai. 2022.

MAGAGNIN FILHO, N., 2015, Resíduos da Construção Civil na cidade de Londrina: Análise da Política de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil Adotada pelo Município e Estudo de Caso Utilizando uma Proposta de Reciclagem Baseada na Técnica de Estabilização à Base de Cimento Portland. 2015. Dissertação (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

MARTINS, L. O. S.; SILVA, L. T.; DORES, D. O.; CARNEIRO, R. A. F. Potencial de geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos visando o uso do biogás com fonte alternativa de energia renovável no estado da Bahia. Convibra, 2015

MAVROPOULOS, A., 2010. “Thermal treatment in transition countries. Is there any future and how?” Seminário Internacional de Tecnologias e Gestão de Resíduos Sólidos, 1, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 26-28 Maio.

OLIVEIRA, L. B. Potencial de aproveitamento energético de lixo e de biodiesel de insumos residuais no Brasil. Tese de doutorado (Ph.D) em Planejamento Energético. Universidade Federal do Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

PINTO, M. S. A Coleta e disposição do lixo no Brasil. Rio de Janeiro. Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1992.

PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Macaé – Consórcio Intermunicipal Lagos São João (CILSJ), 2021

PMGRS – Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos do Município de Macaé – Secretaria Municipal de Limpeza Pública e Secretaria Municipal de Saúde, 2012

PROBIOGAS - PROJETO BRASIL ALEMANHA DE FOMENTO AO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS NO BRASIL. Viabilidade Econômica de Projetos de Valorização Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos com Produção de Biogás. Ministério das Cidades. Brasília, 2017.

REIS, W. F. Análise do modelo de gestão de resíduos sólidos do município de Formosa – GO e a atuação dos atores envolvidos. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental) - Universidade Católica de Brasília, 2006, 107p. Disponível em: <[http://www.bdttd.ucb.br/tede/tde\\_arquivos/6/TDE-2007-03-06T132400Z-405/Publico/.pdf](http://www.bdttd.ucb.br/tede/tde_arquivos/6/TDE-2007-03-06T132400Z-405/Publico/.pdf)>. Acesso em: 14 set. 2021.

SUZUKI, J. A. N.; GOMES, J. Consórcios intermunicipais para a destinação de RSU em aterros, regionais: estudo prospectivo para os municípios no Estado do Paraná. Eng. Sanit. Ambient., v. 14, n. 2, p. 155-158, 2009.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Série histórica – Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 20 jul. 2022.

TOCCHETTO, M. R. L Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais. 2005. 97 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química Industrial, Química – Ccne, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005. Cap. 42.

UNESP/IGCE. Módulo 12 - Disposição de Resíduos - 5. Formas de Disposição de Resíduos. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/residuos/res13.html>>. Acesso em: 24 Jan. 2022.

WEC, World Energy Council. 2016. “World Energy Resources 2016.” Disponível em: <<https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Resources-Full-report-2016.10.03.pdf>> Acessado em 21 Jul. 2022

WIEGO, Incineração de Resíduos e Catadores – Um guia técnico sobre tecnologias de recuperação energética de resíduos sólidos, Nota Técnica N° 11, 2019.