

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

TRATAMENTO TÉRMICO COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO COMO ALTERNATIVA
PARA GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NOS MUNICÍPIOS
UTILIZADORES DO CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS CONSELHEIRO JOSINO,
CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ

MICAELA CHAGAS DE ALMEIDA DOS ANJOS

MACAÉ-RJ

2021

MICAELA CHAGAS DE ALMEIDA DOS ANJOS

TRATAMENTO TÉRMICO COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO COMO ALTERNATIVA
PARA GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NOS MUNICÍPIOS
UTILIZADORES DO CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS CONSELHEIRO JOSINO,
CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ

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 Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação.

Orientador(a): Dr. Hélio Gomes Filho

MACAÉ-RJ

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A599t Anjos, Micaela Chagas de Almeida dos, 1993-.
Tratamento térmico com aproveitamento energético como alternativa para gestão integrada de resíduos sólidos urbanos nos municípios utilizadores do Centro de Tratamento de Resíduos Conselheiro Josino, Campos dos Goytacazes/RJ. / Micaela Chagas de Almeida dos Anjos. — Macaé, RJ, 2021.
xv, 54 f.: il. color.

Orientador: Hélio Gomes Filho, 1958-.
Coorientadora: Angélica 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, 2021.
Inclui referências.
Área de concentração: Sustentabilidade Regional.
Linha de Pesquisa: Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação.

1. Resíduos sólidos - Eliminação de resíduos - Campos dos Goytacazes (RJ). 2. Resíduos sólidos - Aproveitamento energético. 3. Gestão integrada de resíduos sólidos - Campos dos Goytacazes (RJ). 4. Tratamento e aproveitamento de rejeitos. 5. Aterro sanitário - Centro de Tratamento de Resíduos Conselheiro Josino (RJ). 6. Brasil (Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010). I. Gomes Filho, Hélio, 1958-, orient. II. Santos, Angélica Cunha dos, 1979-, coorient. III. Título.

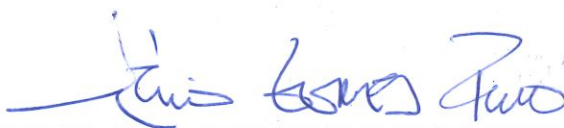
CDD 628.4450981

(23. ed.)

Dissertação intitulada **TRATAMENTO TÉRMICO COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO COMO ALTERNATIVA PARA GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NOS MUNICÍPIOS UTILIZADORES DO CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS CONSELHEIRO JOSINO, CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ**, elaborada por **Micaela Chagas de Almeida dos Anjos** e apresentada, 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 Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação.

Aprovado em: 19 de abril de 2021

Banca Examinadora:



Hélio Gomes Filho, Doutor em Políticas Públicas / Universidade do Estado do Rio de Janeiro. (UERJ), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Orientador



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



Denise Cunha Tavares Terra, Doutora em Geografia / Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF)

DEDICATÓRIA

Ao Criador, pois sem sua obra eu não teria ao que dedicar meus estudos e esforços; aos meus pais, por todo apoio, cuidado e zelo; e ao Vitor, pela paciência e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal Fluminense e todos os seus servidores, em especial a secretaria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - PPEA, que se dedicam a manter essa instituição dentro dos mais altos padrões de excelência. Tenho muito orgulho de fazer parte dessa família.

A todos os professores do PPEA, por todos os ensinamentos compartilhados ao longo de aulas e conversas. Sempre dedicados a contribuir de alguma forma com a formação de todos os alunos do Programa.

Ao meu orientador, professor Dr. Hélio Gomes Filho, minha gratidão por todo apoio e auxílio durante essa trajetória, sendo essencial para a superação de todos os desafios encontrados, tornando possível a conclusão deste trabalho.

As Doutoradas Angélica Cunha dos Santos e Denise Cunha Tavares Terra, parte da Banca Examinadora deste trabalho, por toda atenção e contribuição na avaliação deste projeto.

Aos professores Cláudia Oliveira e Jonathan Velasco, docentes do Instituto Federal Fluminense campus Guarus, por terem incentivado, desde o início, o meu ingresso no programa de mestrado. Obrigada por todos os ensinamentos e confiança depositada.

Aos meus pais, Vilce e Jovenil, por sempre, apesar das dificuldades, acreditarem na minha capacidade e torcerem por meus projetos.

Ao Vitor, noivo e melhor amigo, por todo incentivo e confiança, sempre fazendo com que eu acreditasse na minha capacidade.

A Josiane Lima Borges Viana, sempre querida, por toda sua torcida e ajuda, contribuindo para a realização deste trabalho.

A todos os colegas de turma, pelas conversas, trocas e auxílios em diversos momentos dessa jornada.

A todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para que a caminhada até aqui fosse menos penosa, minha imensa gratidão.

EPÍGRAFE

“Onde houver uma árvore para plantar, plante-a você. Onde há um erro para consertar, conserte-o você. Onde há um trabalho que todos se esquivam, faça-o você. Seja aquele que afasta a pedra do caminho”.

(Gabriela Mistral)

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO CIENTÍFICO 1

Figura 1: Esquema mostrando a prioridade para o gerenciamento dos resíduos sólidos.....	7
Figura 2: Gráfico de relação entre o crescimento populacional, coleta e destinação de RSU em Campos dos Goytacazes.....	13
Figura 3: Gráfico de relação entre o crescimento populacional, coleta e destinação de RSU em São João da Barra.....	14
Figura 4: Gráfico de relação entre o crescimento populacional e destinação de RSU em São Francisco de Itabapoana	16
Figura 5: Gráfico de relação entre o crescimento populacional e destinação de RSU em Laje do Muriaé	19

ARTIGO CIENTÍFICO 2

Figura 1: Aspecto do Combustível Derivado de Resíduos – CDR	35
Figura 2: Planta de incineração com geração de energia.....	37
Figura 3: Configuração de tratamento térmico de RSU com segregação de recicláveis	45

LISTA DE TABELAS

ARTIGO CIENTÍFICO 1

Tabela 1: Composição gravimétrica do RSU brasileiro.....	6
Tabela 2: Evolução da coleta de RSU no município de Campos dos Goytacazes.....	12
Tabela 3: Evolução da coleta de RSU no município de São João da Barra.....	14
Tabela 4: Evolução da coleta de RSU no município de São Francisco de Itabapoana.....	15
Tabela 5: Destinação de RSU no município de Itaperuna.....	17
Tabela 6: Destinação de RSU no município de Laje do Muriaé.....	18
Tabela 7: Destinação de RSU no município de Miracema.....	20

ARTIGO CIENTÍFICO 2

Tabela 1: Limites de emissões permitidos pelas legislações europeias e brasileiras.....	33
Tabela 2: Potencial calorífico inferior típico do RSU brasileiro.....	36
Tabela 3: Características dos equipamentos utilizados no tratamento de gases produzidos na incineração.....	38
Tabela 4: Dados de geração de RSU e número populacional dos municípios considerados para base de cálculo.....	39
Tabela 5: Composição gravimétrica do RSU brasileiro.....	41
Tabela 6: Viabilidade técnica da incineração do RSU de acordo com o PCIIt.....	42
Tabela 7: Quantitativos de MRSUdisp e PCIIt, considerando formação de consórcio municipal.....	46
Tabela 8: Quantitativos de MRSUdisp e PCIIt considerando apenas os RSU gerados em Campos dos Goytacazes.....	46
Tabela 9: Quantidade de energia elétrica possível de gerada, considerando formação de consórcio municipal.....	47
Tabela 10: Quantidade de energia elétrica possível de ser gerada, considerando apenas os RSU gerados em Campos dos.....	48
Tabela 11: Quantidade de habitantes passíveis de abastecimento pela energia gerada por meio do reaproveitamento de RSU.....	48

LISTA DE SÍMBOLOS

η - Rendimento de produção determinado

E_{Ger} - Quantidade de energia possível de ser gerada pela queima do material

GPC - Geração per capita de RSU

$M_{RSU/DIA}$ - Quantidade estimada de geração de resíduos por dia

$M_{RSUdisp}$ - Massa de RSU possível de ser incinerada

$M_{RSUcomp}$ - Massa do componente presente no total de RSU

$M_{RSUcomp.n}$ - Massa total possível de ser incinerada, considerando os componentes do RSU utilizados

n - Número de habitantes responsáveis pela geração de RSU

PCI_t - Potencial calorífico esperado com a incineração dos RSU

PCI_n - Potencial calorífico total, considerando os componentes do RSU utilizados.

Y - Parcela de material presente na massa total de RSU

Y_n - Total das parcelas presentes de cada material no RSU

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

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

CDR – Combustível Derivado de Resíduos

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CTR – Centro de Tratamento de Resíduos

EA – Educação Ambiental

EIA - Energy Information Administration

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FEAN- Fundação Estadual do Meio Ambiente

GIRS – Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

PC – Potencial Calorífico

PCI – Potencial Calorífico Inferior

PCS - Potencial Calorífico Superior

PMCG – Prefeitura Municipal de Campos dos Goytacazes

PMGIRS – Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SEAS - Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade do Rio de Janeiro

**TRATAMENTO TÉRMICO COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO COMO
ALTERNATIVA PARA GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NOS
MUNICÍPIOS UTILIZADORES DO CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS
CONSELHEIRO JOSINO, CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ**

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar a implantação de uma usina de tratamento térmico, no município de Campos dos Goytacazes/RJ, como alternativa para a gestão integrada de resíduos sólidos urbanos (RSU), em caso de escassez de áreas para instalação de futuros aterros sanitários. Para determinação da situação e evolução do gerenciamento de RSU em Campos dos Goytacazes, bem como nos municípios de São João da Barra, São Francisco de Itabapoana, Cardoso Moreira, Italva, Itaperuna, Laje do Muriaé e Miracema, utilizadores do Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) Conselheiro Josino, fez-se uso de dados disponíveis no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), sites oficiais das Prefeituras e pesquisas acadêmicas. Estudo que possibilitou a determinação de um panorama da gestão ambiental em parte das regiões Norte e Noroeste fluminenses, à luz da Lei dos Consórcios Públicos e da Política Nacional de Resíduos Sólidos, além de verificação de eficiência de uso do CTR Conselheiro Josino. Tais dados serviram de base para exposição da recuperação energética dos RSU produzidos pela região circundante de Campos dos Goytacazes, por meio de usina instalada no território deste. Para tanto, foram utilizadas fórmulas algébricas, a fim de estimar a quantidade de energia possível de ser obtida com a conversão da energia química dos resíduos em energia térmica e, posteriormente, em energia elétrica. Listando, ainda, os possíveis impactos positivos e negativos dessa implantação. Desta forma, essa pesquisa se mostra relevante por pretender um diagnóstico ambiental atual dos municípios estudados, uma análise de praticabilidade da instituição de um consórcio público regional, bem como por descrever a utilização de tecnologia de reaproveitamento de materiais outrora descartados como inservíveis, contribuindo para uma Gestão Integrada de Resíduos Sólidos regional, economia de recursos e desenvolvimento sustentável, por meio da redução drástica de RSU enviados para descarte final em aterro sanitário.

Palavras-chave: Gestão Pública. Consórcios Municipais. Reaproveitamento Energético. Aterro Sanitário.

THERMAL TREATMENT WITH ENERGY ACQUISITION AS AN ALTERNATIVE FOR THE INTEGRATED MANAGEMENT OF URBAN SOLID WASTE IN THE MUNICIPALITIES USERS THE WASTE TREATMENT CENTER CONSELHEIRO JOSINO, CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ

ABSTRACT

This work aims to present the implementation of a thermal treatment plant, in the municipality of Campos dos Goytacazes / RJ, as an alternative for the integrated management of urban solid waste (MSW), in the event of a shortage of areas for the installation of future landfills. To determine the situation and evolution of MSW management in Campos dos Goytacazes, as well as in the municipalities of São João da Barra, São Francisco de Itabapoana, Cardoso Moreira, Italva, Itaperuna, Laje do Muriaé and Miracema, users of the Waste Treatment Center (CTR) Counselor Josino, the data available in the National Sanitation Information System (SNIS), official websites of city halls and academic research were used. Study that made it possible to determine an overview of environmental management in part of the North and Northwest regions of Rio de Janeiro, in the light of the Public Consortia Law and the National Solid Waste Policy, in addition to checking the efficiency of use of the CTR Conselheiro Josino. Such data served as a basis for exposing the energy recovery of MSW produced by the surrounding region of Campos dos Goytacazes, through a plant installed in the territory of that country. For this purpose, algebraic formulas were used in order to determine the amount of energy possible to be obtained by converting the chemical energy from the waste into thermal energy and, subsequently, into electrical energy. Also listing the possible positive and negative impacts of this implementation. In this way, this research is relevant because it intends a current environmental diagnosis of the municipalities studied, an analysis of the feasibility of the institution of a regional public consortium, as well as describing the use of technology for reusing materials previously discarded as useless, contributing to a management Regional Solid Waste Integrated, resource saving and sustainable development, through the drastic reduction of MSW sent for final disposal in landfill.

Keywords: *Public Management. Municipal Consortia. Energy Reuse. Landfill.*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	ix
LISTA DE ABREVITURAS E SIGLAS.....	x
RESUMO.....	xi
<i>ABSTRACT</i>	xii
APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	01
ARTIGO CIENTÍFICO 1: DIAGNÓSTICO DA GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NOS MUNICÍPIOS UTILIZADORES DO CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS CONSELHEIRO JOSINO, CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ, SOB A PERSPECTIVA DOS CONSÓRCIOS PÚBLICOS.....	03
1. INTRODUÇÃO.....	05
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	06
2.1. Os Resíduos sólidos urbanos e suas características.....	06
2.2. A gestão integrada de RSU como elemento da sustentabilidade.....	08
3. METODOLOGIA.....	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	11
4.1. Diagnóstico de gerenciamento de RSU dos municípios utilizadores do CTR Conselheiro Josino.....	11
4.2. Avaliação de uso do CTR Conselheiro Josino e sua relação com os consórcios municipais.....	20
5. CONCLUSÃO.....	23
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24
ARTIGO CIENTÍFICO 2: TRATAMENTO TÉRMICO COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO COMO ALTERNATIVA PARA GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NOS MUNICÍPIOS UTILIZADORES DO CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS CONSELHEIRO JOSINO, CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ.....	29
1. INTRODUÇÃO.....	31
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	32
2.1. O processo de incineração de resíduos sólidos e suas características.....	32
2.2. Potencial energético proveniente da incineração de resíduos sólidos.....	35
3. METODOLOGIA.....	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43

4.1. Relevância do tratamento térmico dentro do modelo de gestão integrada: pontos positivos e negativos da incineração de RSU.....	43
4.2. Alternativa para gerenciamento de RSU com aproveitamento energético.....	44
4.3. Rendimento energético possível a partir do tratamento térmico de RSU.....	45
5. CONCLUSÃO.....	49
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

APRESENTAÇÃO

Após a sanção da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em dois de agosto de 2010, os municípios brasileiros passaram a ter prazos para se adequarem a ordem de prioridade de gerenciamento de resíduos imposta pela legislação. De forma que impulsionassem a sensibilização da população quanto à importância da não geração e da redução da produção de resíduos sólidos, bem como promovessem o estabelecimento de métodos e tecnologias que tornassem possíveis o reaproveitamento, a reciclagem e destinação final dos inservíveis, de forma segura, legal e ambientalmente correta. Colocando em prática, desta forma, a gestão integrada de resíduos sólidos.

Todavia, a falta de uma gestão pública tecnicamente especializada, somada à carência de recursos financeiros, sobretudo dos pequenos municípios, fez com que, mesmo após dez anos da PNRS, grande parte da população brasileira ainda não tenha acesso a programas municipais de educação ambiental e coleta seletiva, tendo, ainda, os resíduos sólidos gerados enviados para destinação em vazadouros a céu aberto, o que ocasiona diversos impactos ambientais, sociais e prejuízos à saúde pública.

Além disso, a PNRS é muito clara quando define que uma destinação final ambientalmente adequada inclui a reutilização, a reciclagem e o aproveitamento energético, ao passo que explicita que se deve encaminhar para disposição final em aterros sanitários apenas aqueles materiais que, depois de esgotadas as possibilidades de tratamento por processos tecnológicos disponíveis e viáveis, não apresentem outra possibilidade que não o confinamento no solo.

Esse cenário tem motivado discussões a respeito da aplicação de tecnologias que visem reduzir a quantidade de resíduos a serem dispostos, permitindo ainda benefícios adicionais como a energia elétrica, térmica, aumento da recuperação dos recicláveis e reaproveitamento de rejeitos em diversas atividades.

Os Consórcios Públicos Municipais, por sua vez, poderiam, caso implementados, possibilitar um rateio dos custos demandados para implantação e manutenção do gerenciamento eficiente dos resíduos sólidos gerados por uma determinada região. Permitindo, assim, que os municípios estabelecessem projetos conjuntos de educação ambiental e compartilhassem métodos, tecnologias, estruturas e corpo técnico especializado, reduzindo o ônus financeiro gerado pelas adequações exigidas pela legislação e favorecendo uma gestão pública ambiental mais eficiente e sustentável.

Do ponto de vista empírico, esta pesquisa contribui para a construção do quadro sobre a gestão de resíduos sólidos no contexto específico das regiões norte e noroeste fluminense, apresentando um quadro situacional relativo à aderência dos municípios estudados aos principais elementos norteadores

da PNRS. Ademais, este trabalho apresenta dados importantes que podem servir para a prática política e a administração da gestão de resíduos sólidos urbanos nestas regiões.

Nesse sentido, o presente trabalho objetivou o diagnóstico da gestão de resíduos sólidos urbanos dos municípios que utilizam, ou utilizaram, o aterro sanitário de Campos dos Goytacazes/RJ para destinação final de seus resíduos sólidos, para, a partir desses dados, apresentar possível configuração de implantação de uma usina de tratamento térmico, com aproveitamento energético a partir de incineração controlada, dos resíduos sólidos urbanos gerados pela região, como alternativa para possível escassez de áreas para implantação de aterros sanitários.

Desta forma, o primeiro artigo desta pesquisa, que possuiu uma versão parcial apresentada oralmente e publicada nos anais do 8º Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade (SIGABI), realizado pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, nos dias 7, 8 e 9 de maio de 2019, no Instituto Três Rios, na cidade de Três Rios/RJ, e outra versão apresentada oralmente no 5º Congresso Fluminense de Pós-Graduação (CONPG), realizado de forma online pelas instituições Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Instituto Federal Fluminense (IFF) e a Universidade Federal Fluminense (UFF), entre os dias 13 e 16 de outubro de 2020, buscou traçar um panorama de situação e evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos nos municípios de Campos dos Goytacazes, São João da Barra, São Francisco de Itabapoana, Cardoso Moreira, Italva, Itaperuna, Laje do Muriaé e Miracema, utilizadores do Centro de Tratamento de Resíduos Conselheiro Josino para destinação final de materiais. Além disso, avaliou-se a eficiência de uso que vem sendo dada ao citado aterro sanitário, sob a ótica da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, proposta pela PNRS, avaliando a possibilidade de ganho com o estabelecimento de um Consórcio Público Municipal entre esses entes.

A partir das informações levantadas, o segundo artigo deste trabalho, propôs-se a estimar, por meio de equações algébricas, a quantidade de energia possível de ser gerada com o aproveitamento térmico, por meio de incineração controlada, dos resíduos sólidos urbanos produzidos pelos citados municípios, com o estabelecimento de uma usina de tratamento térmico em Campos dos Goytacazes. Apresentando, desta forma, a tecnologia de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos e sua possível contribuição para a gestão integrada de resíduos sólidos na região, deixando clara a intensão de apresentar alternativa a uma futura saturação do aterro sanitário do CTR Conselheiro Josino, mediante ao quadro de escassez de áreas de implantação. Permitindo, assim, determinar os pontos positivos e negativos de sua implantação, visando, finalmente, o cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos, a redução de custos para os municípios e o desenvolvimento socioambiental da região.

ARTIGO CIENTÍFICO 1

DIAGNÓSTICO DA GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NOS MUNICÍPIOS UTILIZADORES DO CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS CONSELHEIRO JOSINO, CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ, SOB A PERSPECTIVA DOS CONSÓRCIOS PÚBLICOS

DIAGNOSIS OF THE INTEGRATED MANAGEMENT OF SOLID URBAN WASTE IN THE UTILIZING MUNICIPALITIES OF THE CONSELHEIRO JOSINO WASTE TREATMENT CENTER, CAMPOS DOS GOYTACAZES / RJ, UNDER THE PERSPECTIVE OF PUBLIC CONSORTIUMS

Micaela Chagas de Almeida dos Anjos - IFFluminense/PPEA

RESUMO

Apesar dos avanços no campo das políticas públicas brasileiras, por meio da Lei de Consórcios Públicos e Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que definiu como destinação final ambientalmente adequada apenas os Aterros Sanitários, o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos apresenta-se como um grande obstáculo, devido ao pouco investimento em práticas de reaproveitamento e reciclagem de materiais, dificultando a Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos. O município de Campos dos Goytacazes/RJ, por sua vez, já possui em vigor a Lei Municipal nº 8.232/2011, que institui a Política Municipal de Resíduos Sólidos, e o Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) Conselheiro Josino que, além de atender às regiões centrais e periféricas de Campos dos Goytacazes, recebe RSU advindos de outros municípios das regiões Norte e Noroeste Fluminense. Neste contexto, o presente artigo objetivou diagnosticar a situação e a evolução do gerenciamento de RSU dos municípios que realizam ou realizaram, entre os anos de 2011 e 2017, envio de materiais para destinação final no município de Campos dos Goytacazes, bem como verificar a eficiência de utilização do CTR Conselheiro Josino. Para tanto, fez-se uso de dados e informações disponíveis no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), sites oficiais das Prefeituras e pesquisas acadêmicas. Com isso, concluiu-se que, dentro do grupo de municípios estudados, ainda existe descumprimento da PNRS e destinação inadequada de RSU. Além disso, a falta de um Consórcio Público entre os municípios estudados limita a eficiência de uso do CTR Conselheiro Josino, bem como desfavorece a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos regionalmente.

Palavras chave: Gestão Pública. Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos. Consórcios Públicos Municipais. RSU. Aterro sanitário.

ABSTRACT

In spite of advances in the Brazilian public policy fields, through the Public Consortia Law and the National Solid Waste Policy (PNRS), which defined only sanitary Landfills as the final destination, the management of solid urban waste presents itself as a major obstacle, due to the lack of investment in reuse and recycling of materials, making difficult the Integrated Management of Solid Waste. The municipality of Campos dos Goytacazes / RJ, in turn, already has in force Municipal Law No. 8,232 / 2011, which establishes the Municipal Solid Waste Policy, and the Waste Treatment Center (CTR), Counselor Josino, which, in addition to attend the central and outlying regions of Campos dos Goytacazes, receives RSU from other municipalities in the North and Fluminense Northwest. In this context, this article aimed to diagnose the situation and the evolution of MSW management of the municipalities that carry out or carried out, between the years of 2011 and 2017, the sending of materials for final destination in the municipality of Campos dos Goytacazes, as well as to verify the efficiency of the CTR Councilor Josino. To do so, use was made of data and information available in the National Information System on Sanitation (SNIS), official sites of City Halls and academic research. In addition, the lack of a Public Consortium among the municipalities studied limits the efficiency of use of CTR Adviser Josino, as well as undermines the Integrated Management of Solid Waste regionally.

Keywords: *Public administration. Urban Solid Waste Management. Municipal Public Consortia. MSW. Landfill*

1. INTRODUÇÃO

O aumento da intensidade da atividade humana nas últimas décadas, bem como o crescimento desordenado da população em núcleos urbanos sem planejamento, acelerou a produção excessiva de resíduos sólidos urbanos (RSU). De forma que o Brasil já apresentava, em 2017, uma produção diária de 215 toneladas de RSU, o que representa, em média, cerca de 1.040 kg de resíduos por habitante (ABRELPE, 2018). Números que tendem a ser cada vez maiores ao longo dos anos.

Se realizadas de forma inadequada, a gestão e disposição desses materiais tem potencial para causar uma série de impactos sociais, ambientais e de saúde pública. Portanto, torna-se cada vez mais evidente que o gerenciamento adequado dos RSU pode reduzir, significativamente, diversos problemas de gestão nas cidades.

O país já realizou grandes avanços no campo das políticas públicas relacionadas aos resíduos sólidos urbanos, estabelecendo diretrizes para sua gestão. Dentre esses, destaca-se a Lei de Consórcios Públicos (BRASIL, 2005), que, se colocada em prática, auxiliaria na superação das deficiências estruturais e financeiras dos municípios, sobretudo os de pequeno porte, e a própria Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010), que representou um marco legal para as questões ambientais do país, trazendo princípios e instrumentos de suma importância para o gerenciamento dos resíduos sólidos e definindo os Aterros Sanitários como única forma legal para disposição final de RSU. Em uma abordagem regional, tem-se, ainda, as Políticas Estaduais de Resíduos Sólidos, como ocorre, a título de exemplo, no estado do Rio de Janeiro através da Lei nº 4.191/2003 (RIO DE JANEIRO, 2003).

No entanto, o gerenciamento dos RSU apresenta-se, ainda, como um grande obstáculo, especialmente devido ao pouco investimento em práticas de reaproveitamento e reciclagem de materiais, que impossibilitam a Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos. Ademais, apenas uma pequena parte dos municípios brasileiros, compostos majoritariamente pelas capitais estaduais e suas regiões metropolitanas, apresentam condições financeiras e técnicas de manter em operação, de forma individualizada, locais corretos para destinação final de RSU (BRANDÃO; SILVA, 2011).

O município de Campos dos Goytacazes, localizado na Região Norte do estado do Rio de Janeiro, por sua vez, por meio da Lei nº 8.232/2011 (CAMPOS DOS GOYTACAZES, 2011), estabeleceu os princípios e diretrizes para a gestão e gerenciamento de seus resíduos. Além disso, possui em operação, desde 2011, aterro sanitário próprio, o Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) Conselheiro Josino, que, além de atender as regiões centrais e periféricas de Campos dos Goytacazes, recebe RSU provenientes de municípios da Região Norte e Noroeste Fluminense.

Neste contexto, o presente artigo objetiva a realização de um diagnóstico da situação e evolução

do gerenciamento de RSU dos municípios que realizam ou realizaram, entre os anos de 2011 e 2017, envio de materiais para destinação final no município de Campos dos Goytacazes, considerando as definições da Política Nacional de Resíduos Sólidos, bem como verificar a eficiência de utilização do CTR Conselheiro Josino sob os princípios da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos e firmamento de Consórcios Públicos.

Para tanto, os parágrafos seguintes estão dispostos segundo a seguinte estrutura: a Seção 2 apresenta uma síntese dos conceitos relacionados à gestão e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, suas características e métodos de contribuição para a sustentabilidade. Já a Seção 3, trata da classificação da pesquisa, do objeto de estudo e dos bancos de dados escolhidos para coleta das informações, bem como as ferramentas de análises utilizadas para confecção dos resultados. A Seção 4, por sua vez, descreve os resultados alcançados e as discussões pertinentes a esse respeito, enquanto a Seção 5 traz as considerações finais do trabalho, bem como suas limitações de execução e sugestões de novas pesquisas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Os Resíduos Sólidos Urbanos e suas características

No Brasil, dentre as diversas classificações dadas aos resíduos sólidos, têm-se os Resíduos Sólidos Urbanos, ou RSU, provenientes de residências, atividades comerciais e de limpeza pública, com responsabilidade de gestão atribuída ao poder público municipal (BRASIL, 2010).

A Tabela 1 apresenta a composição gravimétrica, estimada, dos RSU produzidos no Brasil.

Tabela 1: Composição gravimétrica do RSU brasileiro. Fonte: EPE (2014)

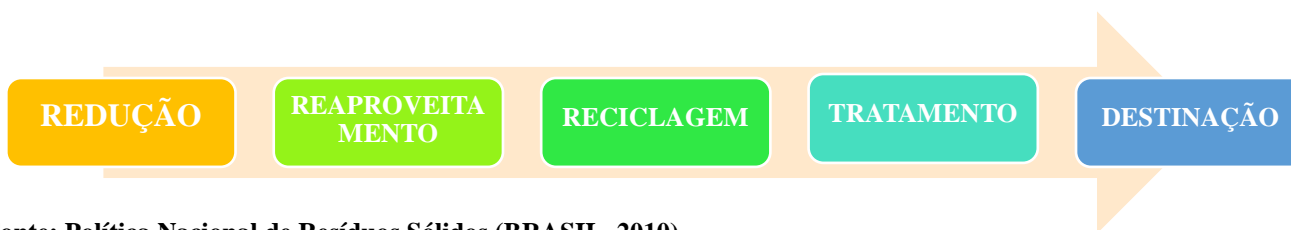
MATERIAS	PARTICIPAÇÃO (%)
Papel/ Papelão	18,50
Plástico	12,30
Metais	2,10
Vidros	3,10
Orgânicos	59,00
Diversos	5,00
TOTAL	100,00

A taxa de geração e a composição desses materiais estão relacionadas aos hábitos de consumo cultural de cada região do país, estando diretamente ligadas aos padrões econômicos, ao nível educacional dos habitantes, mudanças na política econômica e nas legislações ambientais vigentes.

Portanto, o conhecimento e o planejamento dos processos e das tecnologias disponíveis para tratamento e disposição final desses materiais são de suma importância para a adequada implantação ou melhoria do gerenciamento dos RSU (RAMOS *et al.*, 2018).

Neste sentido, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010), objetivando uma gestão eficiente dos resíduos sólidos brasileiros, atribui a responsabilidade de sua efetividade ao poder público, ao setor empresarial e a coletividade. Com base nisso, todo aquele que gera resíduos sólidos deve seguir as determinações descritas na Política Nacional, dentre elas a redução da geração, a reciclagem, a utilização dos sistemas de logística reversa, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Estabelecendo, desta forma, uma prioridade para o gerenciamento dos resíduos, conforme Figura 1.

Figura 1: Esquema mostrando a prioridade para o gerenciamento dos resíduos sólidos



Fonte: Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

Os índices de geração e a preocupação com a questão dos resíduos sólidos no Brasil cresceu ao passar dos anos. Porém, o destino dado a esses materiais ainda não cumpre as exigências legais em sua totalidade, existindo ainda disposições de resíduos de forma irregular, apesar dos esforços empreendidos para realizar as adequações necessárias (MORAES, 2015).

Os dados referentes aos RSU produzidos no Brasil, segundo Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), revelam um total anual de 78,4 milhões de toneladas geradas no país. Comparando o montante de resíduos gerados e a quantidade coletada, tem-se 71,6 milhões de toneladas de RSU recolhidos, o que representa um índice de cobertura de coleta de 91,2%, indicando, no entanto, que 6,9 milhões de toneladas de resíduos não são coletados e, conseqüentemente, podem estar recebendo destino inadequado. Ressalta-se, ainda, que a disposição final adequada dos RSU não ocorre em todas as regiões e estados brasileiros, onde 3.352 municípios ainda fazem uso de locais impróprios para disposição de seus resíduos (ABRELPE, 2018).

Ademais, a falta de estrutura administrativa especializada para atuação na política pública de gerenciamento de RSU, especialmente por parte dos municípios de pequeno porte, que, em 2013, representavam cerca de 70% dos municípios brasileiros, demonstra que os consórcios intermunicipais seriam uma oportunidade de apoio conjunto à gestão de todos os municípios. Esses contribuiriam para ganhos em escala através do compartilhamento de estruturas e tecnologias, como aterros sanitários,

usinas de reciclagem e reaproveitamento energético e melhoria da capacidade técnica, gerencial e financeira, já que nem sempre as receitas próprias somadas às transferências da União e do Estado garantem a implementação dessas políticas (ABRUCIO; FILIPPIM; DIEGUEZ, 2013; CHERUBINE; TREVAS, 2013; BRASIL, 2017).

Neste sentido, o conceito da Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos (GIRS), postulado pela PNRS, se mostra de fato relevante. Visto que, em suma, a GIRS busca reduzir impactos negativos relacionados aos resíduos, implementando, de forma conjunta, metodologias e tecnologias de gerenciamento que produzam efeitos positivos para a sociedade, ao que se refere aos aspectos sociais, ambientais e econômicos (BRASIL, 2010; NASCIMENTO, 2017; MAIELLO; BRITTO; VALLE, 2018).

2.2 A gestão integrada de RSU como elemento da sustentabilidade

2.2.1. Educação Ambiental

De acordo com a Política Nacional de Educação Ambiental, instituída pela Lei nº 9.795/1999 (BRASIL, 1999), a educação ambiental (EA) pode ser descrita como os processos pelos quais a sociedade constrói conhecimentos, habilidades, valores sociais, atitudes e competências acerca da conservação do meio ambiente. Desta forma, levando-se em conta a crescente preocupação da humanidade ao que tange às questões de sustentabilidade nos últimos anos, mostra-se evidente o importante papel que a EA desempenha (MACEDO; RAMOS, 2015).

Como já comentado anteriormente, os resíduos sólidos urbanos devem ser geridos e controlados de forma a reduzir o seu volume e periculosidade, minimizando, assim, os prejuízos da poluição ambiental e os impactos sobre a saúde pública decorrentes de possíveis gerenciamentos inadequados. Por esse ângulo, a EA aparece como instrumento de gestão, possibilitando a modificação e sensibilização do pensamento da comunidade quanto às questões ambientais (MACEDO; RAMOS, 2015; VIEIRA; BELTRAME, 2017).

2.2.2. Coleta Seletiva e Reciclagem

A reciclagem, por sua vez, é um processo no qual os resíduos são reaproveitados para um novo produto, economizando, desta forma, matéria-prima que outrora seria necessária para a produção de novos produtos. Tal processo é facilitado pelo correto acondicionamento dos resíduos por meio da coleta seletiva, o que contribui, consideravelmente, para o aumento da vida útil dos aterros sanitários, haja vista que uma menor quantidade de resíduos é encaminhada aos mesmos (ANDREOLI *et al.*,

2014).

Quando implementada, a reciclagem apresenta considerável relevância ambiental e social, que vai desde a organização espacial do território, preservação e uso racional dos recursos naturais e redução de desperdícios, até a melhoria da qualidade de vida, redução da poluição e dos prejuízos à saúde pública (CALDERONI, 2003).

Segundo dados da ABRELPE (2017), 3.923 municípios brasileiros, cerca de 70%, apresentam alguma iniciativa de coleta seletiva, que podem variar entre coleta porta a porta, pontos de entrega voluntária e outras configurações. Todavia, em muitos municípios as atividades de coleta seletiva não abrangem a totalidade de sua área urbana, sendo raras em zonas distritais e rurais. O que mostra que a implantação da coleta seletiva, e a consequente reciclagem de materiais, ainda é um desafio que requer políticas públicas, justiça tributária e segurança jurídica, para que seja possível seguir em direção ao desenvolvimento sustentável nas esferas ambiental, social e econômica (GUTBERLET, 2011).

2.2.3. Tratamento Térmico

As tecnologias de tratamento térmico de resíduos, segundo a Resolução CONAMA n° 316/2002, são processos cuja operação é realizada acima da temperatura mínima de 800°C. Caracterizando-se, desta forma, como a quebra das ligações químicas dos componentes dos materiais por meio da submissão a altas temperaturas (BRASIL, 2002; RODRIGUES, 2008).

Diversos países já adotam tal tecnologia para tratamento dos RSU que produzem, buscando, especialmente, a redução do volume de resíduos dispostos em aterros sanitários e o aproveitamento do poder calorífico dos materiais para geração de energia (COUTINHO; VIEIRA, 2016; RAMOS *et al.*, 2018).

Dentre os processos de tratamento térmico, a incineração é o mais conhecido, com número elevado de unidades em operação comercial em todo o mundo. Entretanto, existem, ainda, outras tecnologias para o aproveitamento energético do RSU, como a pirólise, a gaseificação e as tecnologias com plasma (EPE, 2014).

2.2.4. Aterros Sanitários

No caminho contrário ao incentivado por toda comunidade ambientalista e acadêmica, diversos municípios brasileiros ainda dispõem RSU em vazadouros a céu aberto, os conhecidos lixões. Nesta prática, os resíduos coletados são lançados diretamente no solo, sem nenhum controle ambiental, causando graves contaminações locais e difusas, além de proliferação de vetores e problemas socio-sanitários envolvendo catadores de materiais recicláveis (REZENDE, 2015).

Têm-se, ainda, os denominados aterros controlados que, segundo a NBR 8849 (ABNT, 1985) são muito semelhantes ao aterro sanitário em termos de estrutura, não apresentando, porém, todos os controles ambientais necessários para prevenção de poluições, sendo, normalmente, a remediação de um antigo lixão.

Todavia, desde a implementação da PNRS (BRASIL, 2010), apenas os aterros sanitários constituem um destino final ambientalmente correto para os RSU, sendo uma área, que após aplicação de técnicas de engenharia, tornou-se capaz de confinar os resíduos através de aterramento no solo (ABNT, 1984), apresentando os requisitos técnicos para proteção do local contra os poluentes gerados pela degradação dos materiais confinados.

Verifica-se, no entanto, pouco avanço no que tange à disposição ambientalmente adequada de RSU no Brasil, comparando os dados de 2016 e 2017, onde a porcentagem de resíduos coletados enviados para aterros sanitários passou de 59% para, apenas, 59,1%. Consequência disso, são as 80 mil toneladas de resíduos enviados, diariamente, para aterros controlados e vazadouros (ABRELPE, 2017, 2018).

Não se pode ignorar, ainda, a PNRS (BRASIL, 2010), que é muito clara quando define que uma destinação final ambientalmente adequada inclui a reutilização, a reciclagem e o tratamento. Ao passo que explicita que se deve encaminhar para disposição final em aterros apenas aqueles materiais que, depois de esgotadas as possibilidades de tratamento por processos tecnológicos disponíveis e viáveis, não apresentem outra possibilidade que não o confinamento no solo, o que não ocorre em grande parte dos municípios brasileiros.

3. METODOLOGIA

Para realização deste trabalho fez-se uso de pesquisa exploratória- descritiva, caracterizada, do ponto de vista de sua natureza, como aplicada, buscando, por meio de abordagens quantitativas e qualitativas (GIL, 1991), levantar dados essenciais à proposição de soluções para a gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos enviados para aterramento em Campos dos Goytacazes/RJ.

Para o levantamento de dados e determinação do objeto de estudo, fez-se uso de informações disponíveis no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), maior e mais importante banco de dados do setor no País, administrado pelo Governo Federal (SNIS, 2019), em sites oficiais das Prefeituras e na Superintendência de Limpeza Pública de Campos dos Goytacazes, município onde se localiza o Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) Conselheiro Josino. Além disso, realizou-se consultas a pesquisas acadêmicas, publicações técnicas e reportagens jornalísticas referentes às

localidades a serem estudadas.

Com isso, definiu-se como recorte espacial os municípios de Campos dos Goytacazes, São João da Barra, São Francisco de Itabapoana, Cardoso Moreira, Italva, Itaperuna, Laje do Muriaé e Miracema, localizados nas regiões Norte e Noroeste Fluminenses. Tendo esses utilizado o CTR Conselheiro Josino no período entre 2011, ano de início das operações do Aterro Sanitário, e 2017, ano de referência dos dados mais recentes disponíveis para consulta no SNIS.

De posse das informações, definiu-se e analisou-se, por meio de abordagem empírica, compilação de dados e cálculo de correlação linear estatística, o panorama de gerenciamento dos RSU gerados e coletados nos municípios em questão. Ademais, realizou-se a construção do diagnóstico das condições de operação e arranjo institucional no CTR Conselheiro Josino, propondo alterações e melhorias para modelo em operação atualmente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Diagnóstico de gerenciamento de RSU dos municípios utilizadores do CTR Conselheiro Josino

4.1.1 Campos dos Goytacazes

A partir dos dados coletados, foi possível verificar que o município de Campos dos Goytacazes já atende a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) quanto à existência de local tecnicamente adequado para disposição final de resíduos sólidos urbanos (RSU), tendo em funcionamento, desde 2011, o Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) Conselheiro Josino. Todavia, o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), exigência da PNRS e condicionante para acesso a recursos da União para gestão de resíduos, ainda está em desenvolvimento por meio de equipe técnica própria do município. Apesar de o PMGIRS ter sido colocado como principal objetivo da Lei 8.232/2011 (CAMPOS DOS GOYTACAZES, 2011), que instituiu a Política Municipal de Resíduos Sólidos, a Prefeitura Municipal de Campos dos Goytacazes (PMCG) alega que, devido a grave crise financeira que assolou o município, somente agora o estudo pode ser iniciado (PMCG, 2018b).

A respeito da geração de RSU, segundo dados cedidos pela Superintendência de Limpeza Pública municipal, através do Ofício 148/2018 (PMCG, 2018b), no ano de 2017, a população campista apresentou uma taxa de geração per capita de 0,70 kg/hab./dia, quantidade menor que a apresentada pelo estado do Rio de Janeiro e pela média nacional (ABRELPE, 2018) e maior que o valor declarado pelo município ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), 0,55 kg/hab./dia, no mesmo ano.

A Tabela 2 traz a evolução da coleta de RSU no município ao longo dos anos posteriores à construção do CTR Conselheiro Josino, conforme informações do SNIS (2019).

Tabela 2: Evolução da coleta de RSU no município de Campos dos Goytacazes

ANO	TOTAL RSU COLETADO (TON/ANO)	TOTAL DE RSU DESTINADO NO CTR CONSELHEIRO JOSINO (TON/ANO)
2011	107.500	107.200
2012	107.500	107.200
2013	115.935	115.748
2014	132.757	114.041
2015	115.799	115.604
2016	218.674	107.909
2017	119.002	103.722
MÉDIA	114.862	110.203

É possível verificar, porém, uma série de irregularidades nos dados disponíveis. Enquanto os anos de 2011 e 2012 apresentaram os mesmos valores de coleta e destinação de RSU, no ano de 2015 o valor de coleta total de RSU foi inferior ao do ano de 2014, quando, seguindo as tendências internacionais, esperava-se um aumento da quantidade de RSU coletada.

Além disso, quando confronta-se os valores de destinação de RSU cedidos pela Superintendência de Limpeza Pública do município (PMCG, 2018b) e os dados apresentados no portal SNIS, referente ao ano de 2017, percebe-se uma diferença de 13.173 ton./ano de resíduos encaminhados a CTR Conselheiro Josino, sendo os valores declarados ao Sistema Nacional de Informações menores que os números provenientes do controle interno da Prefeitura Municipal.

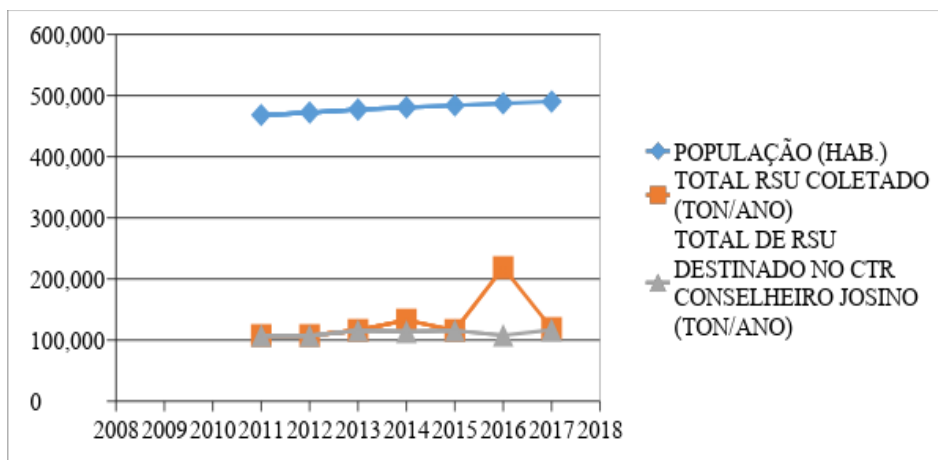
É sabido que as quantidades de RSU coletadas e destinadas apesar de não coincidentes, devido aos montantes de RSU enviados para reciclagem, devem seguir o mesmo padrão de crescimento, devido a menor contribuição dos métodos de reaproveitamento na configuração municipal de descarte de RSU.

Salienta-se, no entanto, que os valores inconsistentes de coleta apresentados pelo município de Campos não são acompanhados pelos dados de destinação, a exemplo do ano de 2016 quando o CTR Conselheiro Josino recebeu o terceiro menor valor de quantidade de material, apesar da considerável discrepância apresentada quando se analisa os valores de coleta total.

Além disso, a partir da análise estatística dos conjuntos de dados disponíveis no SNIS (2019), percebe-se que a correlação linear entre o crescimento da população e a coleta de RSU é positivamente fraca (0,50). Prova disso são os valores de coleta e destinação verificados no ano de 2015 que chegaram a ser menores que o ano de 2013, apesar do crescimento contínuo do número populacional, conforme

Figura 2.

Figura 2: Gráfico de relação entre o crescimento populacional, coleta e destinação de RSU em Campos dos Goytacazes.



Apesar disso, a Prefeitura Municipal, no anuário Perfil Campos 2018 (PMCG, 2018a), declara que a coleta de RSU no município apresenta uma abrangência de 100% e um volume médio diário de coleta de, aproximadamente, 330 toneladas. Todavia, a coleta de RSU na zona rural do município apresenta um valor bem inferior àquele verificado na área urbana, 78,26 e 260,27 ton./dia, respectivamente. O que, segundo o órgão público, reflete apenas a diferença populacional entre as áreas, mesmo que o município declare, segundo o SNIS (2019), que apenas 10% da população não reside em locais urbanizados.

A respeito das cooperativas de reciclagem, em 2016, a Prefeitura declarou ao Sistema Nacional de Informação a existência de três cooperativas em atividade no município que receberam, conjuntamente, 2.765 toneladas de materiais. Já em 2017, segundo a Superintendência de Limpeza Pública, foram recolhidas 4.318 toneladas de recicláveis, dos quais somente 2.106 toneladas foram triadas e, efetivamente, reaproveitados (PMCG, 2018b).

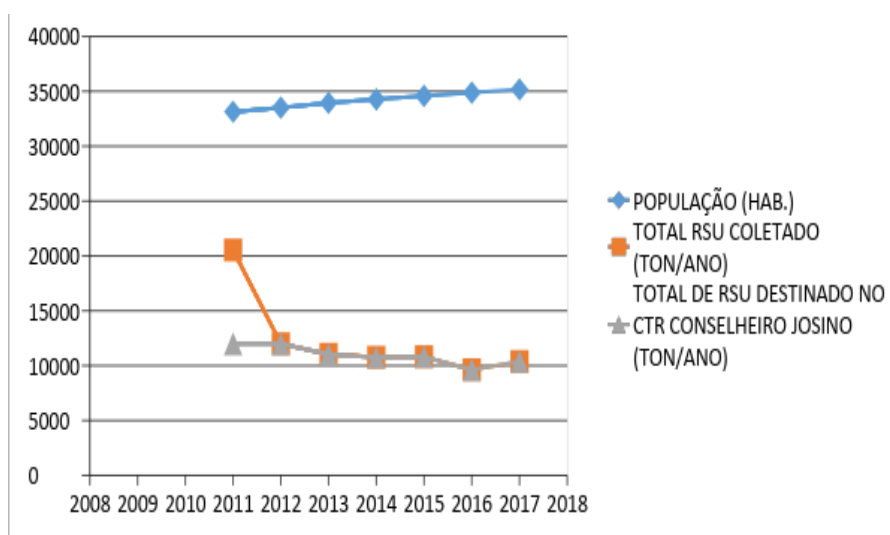
4.1.2 São João da Barra

Analisando os dados disponíveis para acesso, a respeito dos resíduos sólidos urbanos (RSU), verifica-se que, apesar de não possuir um aterro sanitário próprio, o município de São João da Barra vem cumprindo com a PNRS, no que tange a destinação final adequada dos RSU que produz, conforme Tabela 3. No entanto, em 2011, ano de início das operações no CTR Conselheiro Josino, o município destinou em vazadouros a céu aberto, segundo dados do SNIS, cerca de 42% do volume do RSU produzido naquele ano.

Tabela 3: Evolução da coleta de RSU no município de São João da Barra

ANO	TOTAL RSU COLETADO (TON/ANO)	TOTAL DE RSU DESTINADO NO CTR CONSELHEIRO JOSINO (TON/ANO)
2011	20540	12000
2012	12000	12000
2013	11041	11019
2014	10764	10764
2015	10816	10816
2016	9628	9628
2017	10379	10379
MÉDIA	12167	10.944

Apesar dos dados de destinação de RSU, disponíveis no SNIS (2019), se manterem em torno da média, o valor de coleta do ano de 2011, como já comentado, destoa, consideravelmente, dos demais, conforme Figura 3. Além disso, percebe-se uma correlação linear negativamente forte entre os dados de coleta e número populacional (-0,76).

Figura 3: Gráfico de relação entre o crescimento populacional, coleta e destinação de RSU em São João da Barra.

Tal inconsistência pode ser explicada pelo fato de ter existido, neste ano, a destinação de um volume de resíduos para o vazadouro municipal (SNIS, 2019). Todavia, não é possível explicar, devido à falta de outros dados para confronto, porque houve uma quantidade tão grande de coleta, e, conseqüentemente, de geração de resíduos, já que a Prefeitura declara uma taxa de coleta de 100% durante esse ano.

Além disso, observa-se que nos anos de 2011 e 2012 foram descartados, segundo o declarante, exatamente a mesma quantidade de RSU, para aterramento no CTR Conselheiro Josino.

Percebe-se, ainda, segundo os dados levantados, que o início das operações no Porto do Açú, grande empreendimento em funcionamento no município desde 2014, não parece ter tido grande

influência na coleta de RSU, de forma que entre os anos de 2014 e 2015 ocorreu um crescimento de 52 ton./ano de resíduos, porém no ano de 2016 houve uma redução de 1.188 ton./ano na quantidade de material coletado.

Com relação à reciclagem de materiais, no ano de 2013, o município declarou ao SNIS a existência de coleta seletiva, onde cerca de 1.300 habitantes eram atendidos. Neste ano, foram recuperadas 22 toneladas de material reciclável. Nos anos seguintes, porém, só foram declarados no Sistema Nacional informações referentes à coleta convencional, apesar de ser possível encontrar, em sites de notícias, reportagens sobre implementação de programas e projetos desse tipo na área central e nos distritos (PORTAL G1, 2014).

4.2.3 São Francisco de Itabapoana

O município de São Francisco de Itabapoana apresentou em 2017, segundo dados do SNIS, uma taxa de cobertura de coleta de RSU de 100% em relação a população total do município, o que correspondeu a uma massa de RSU per capita de 0,57 kg por dia. Com relação a disposição final, o município vem cumprindo a disposto na PNRS, enviando, desde 2011, para aterramento no CTR Conselheiro Josino os RSU que coleta, conforme Tabela 4.

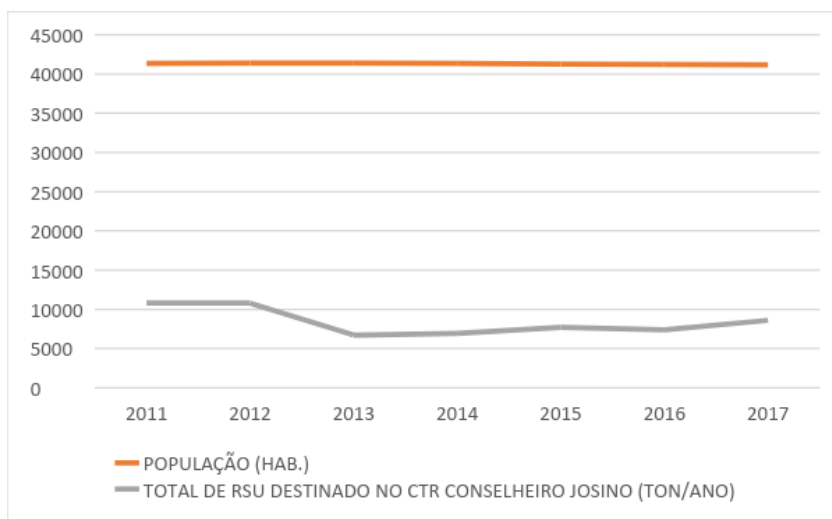
Tabela 4: Evolução da coleta de RSU no município de São Francisco de Itabapoana.

ANO	TOTAL DE RSU DESTINADO NO CTR CONSELHEIRO JOSINO (TON/ANO)
2011	10800
2012	10800
2013	6721
2014	6951
2015	7718,8
2016	7376
2017	8600
MÉDIA	8.424

Analisando os dados levantados, percebe-se que a coleta de RSU varia consideravelmente, não apresentando um crescimento contínuo. Além disso, os anos de 2011 e 2012 apresentaram os mesmos valores de quantidade de RSU destinado ao CTR Conselheiro Josino, sendo essas 2.200 toneladas maiores que as massa aferida em 2017.

A Figura 4 traz a comparação gráfica entre os dados de número populacional e a destinação de RSU no município, que apresentam uma correlação linear desprezível (0,24), de acordo com as informações disponibilizadas no SNIS (2019).

Figura 4: Gráfico de relação entre o crescimento populacional e destinação de RSU em São Francisco de Itabapoana



Sobre a coleta seletiva e processos de reciclagem, apesar de Torres (2014) e Sales (2011) comentarem em seus estudos a respeito de implantação de programas desse tipo no município, em nenhum ano, compreendido no período analisado, houve declaração no SNIS de existência de coleta seletiva ou quantidade de material reaproveitado.

4.2.4 Cardoso Moreira

Segundo informações disponíveis em portal de notícias local, o município de Cardoso Moreira finalizou, em 2016, a elaboração do Plano Municipal de Resíduos Sólidos, iniciada no ano anterior. Com isso, o vazadouro a céu aberto existente no município seria desativado e os RSU gerados encaminhados para o CTR Conselheiro Josino, até a regularização do Aterro Sanitário de Pureza, localizado em São Fidélis/RJ, que atenderia de forma consorciada a 15 municípios do Norte e Noroeste fluminense (CARDOSO MOREIRA NEWS, 2016).

Todavia, segundo dados do SNIS (2019), o CTR Conselheiro Josino recebeu apenas 807 toneladas de RSU provenientes do município, no ano de 2016. Sendo inexistentes, no Sistema Nacional, quaisquer outros dados relacionados à coleta e destinação dos RSU produzidos em Cardoso Moreira, durante os anos estudados. Ademais, não foi possível localizar o referido Plano Municipal de Resíduos Sólidos para consulta, não permitindo, desta forma, analisar, a partir dos bancos de dados utilizados, possíveis avanços ou retrocessos acerca do gerenciamento de RSU no município.

4.2.5 Italva

Apesar da Concessionária responsável pela administração e operação do CTR Conselheiro

Josino afirmar que o aterro sanitário recebe RSU provenientes do município de Italva (PMCG, 2017), não existe no SNIS declarações de envio de materiais para aterramento na cidade Campos dos Goytacazes.

Ademais, os dados disponíveis informam que o município descartou, em todos os anos compreendidos no período analisado, os RSU que coletou, cerca de 16.000 toneladas somente em 2017, em vazadouro a céu aberto administrado pela Prefeitura Municipal, mesmo que tal prática de destinação seja condenada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL,2010), devido à passividade de causar prejuízos ambientais, sociais e a saúde pública dos munícipes.

4.2.6 Itaperuna

Apesar da quantidade significativa de material gerado anualmente, segundo os dados do SNIS (2019), o município de Itaperuna, no período analisado, não atendeu o disposto pela PNRS, quanto à destinação final de RSU apenas em aterro sanitário, conforme Tabela 5.

Tabela 5: Destinação de RSU no município de Itaperuna.

ANO	POPULAÇÃO (HAB.)	TOTAL RSU DESTINADO (TON/ANO)	TIPO DE DESTINAÇÃO
2014	98521	58038	CTR CONSELHEIRO JOSINO
2015	99021	4521,4	CTR CONSELHEIRO JOSINO
2016	99504	-	LIXÃO JABUTICABAL
2017	99997	47800	-
MÉDIA	99.261	39.075	-

Percebe-se que o município, no ano de 2014, atendeu a Lei 12305/10 (BRASIL, 2010), enviando o RSU gerado para aterramento no CTR Conselheiro Josino. Nos anos seguintes, todavia, foi utilizado o Lixão Jabuticabal, administrado pela Prefeitura Municipal em 2015 e por empresa privada em 2017, para descarte dos resíduos produzidos. Mesmo que, segundo portal de notícias locais, no ano de 2017, o prefeito do município tenha firmado, junto à Caixa Econômica Federal, convênio para elaboração do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (RIBEIRO, 2017). Além disso, não houve declarações no Sistema Nacional a respeito da coleta de RSU nos anos anteriores a 2014, compreendidos no período delimitado para esse estudo.

Sobre a coleta seletiva de RSU, o município declarou ao SNIS a existência de recolhimento de recicláveis nos anos de 2014, 2015 e 2017, onde foram recuperadas, respectivamente, 135, 141 e 243 toneladas de materiais. O que demonstra um crescimento da quantidade de recicláveis que tiveram

destino mais nobre que o confinamento no solo.

4.2.7 Laje do Muriaé

Analisando os dados disponíveis no SNIS (2019), a respeito do gerenciamento de RSU em Laje do Muriaé, percebe-se que o município cumpre, desde 2013, a exigência da PNRS quanto ao descarte final de materiais em aterros sanitários, conforme Tabela 6. Não existindo informações referente aos anos anteriores analisados neste estudo.

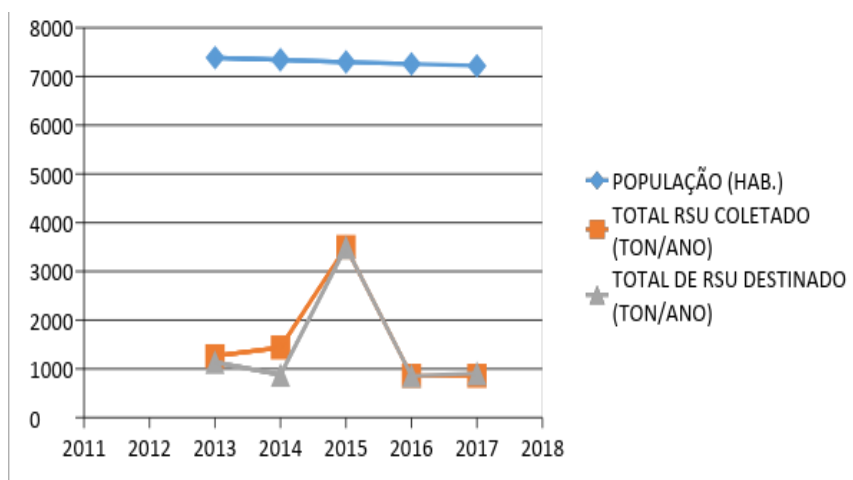
Tabela 6: Destinação de RSU no município de Laje do Muriaé.

ANO	POPULAÇÃO (HAB.)	TOTAL RSU COLETADO (TON/ANO)	TOTAL DE RSU DESTINADO (TON/ANO)	LOCAL DE DESTINAÇÃO
2013	7.385	1.260,00	1.140,00	CTR CONSELHEIRO JOSINO
2014	7.341	1.440,00	878,00	CTR CONSELHEIRO JOSINO
2015	7.298	3.500,00	3.500,00	CTR CONSELHEIRO JOSINO
2016	7.257	858,00	858,00	CTR CONSELHEIRO JOSINO
2017	7.217	858,00	908,10	MADALENA TRATAMENTO DE RESÍDUOS URBANOS
MÉDIA	7.300	1.583	1.457	

Verificando os números de coleta e destinação, percebe-se diferenças consideráveis entre os valores, embora não haja no SNIS outros destinos dados aos resíduos que não contam como recebidos em aterros sanitários. Ressalta-se, porém, que em 2014, segundo a Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade do Rio de Janeiro (SEAS), o município ainda tinha em operação um vazadouro a céu aberto, o que poderia explicar as divergências entre os dados. Além disso, no ano de 2015, a quantidade de RSU coletada mostrou-se muito acima da média, fato que também não pode ser justificado devido à falta de dados (SEAS, 2014).

Sobre o número de pessoas residentes no município, conforme informações do SNIS (2019), não existe uma correlação linear considerável entre esse e a coleta de RSU (0,19), conforme Figura 5.

Figura 5: Gráfico de relação entre o crescimento populacional e destinação de RSU em Laje do Muriaé



Ademais, no ano de 2017, verifica-se a mudança de destino final dos resíduos produzidos no município, onde os mesmos deixam de ser enviados para o CTR Conselheiro Josino e passam a ser destinados para o aterro sanitário MTR Madalena Tratamento de Resíduos Urbanos Ltda, também gerido por organização privada.

A respeito da coleta seletiva de RSU, no ano de 2014 foi declarada ao SNIS existência de coleta do tipo porta a porta, o qual atendeu 2.500 pessoas, recolhendo 15 toneladas de materiais. Nos demais anos, no entanto, o município declarou inexistência de coleta diferenciada para recuperação de recicláveis.

4.2.8 Miracema

A partir da análise dos dados referentes ao gerenciamento de RSU em Miracema, notou-se que o município envia para aterro sanitário, desde 2012, os resíduos que produz. Todavia, a partir de 2015, deixou de enviar materiais para o CTR Conselheiro Josino, passando a utilizar o MTR Madalena Tratamento de Resíduos Urbanos Ltda para destinação final de RSU, conforme Tabela 7. Ressalta-se que não há declaração no SNIS a respeito da coleta e destinação de RSU em 2011.

Tabela 7: Destinação de RSU no município de Miracema.

ANO	POPULAÇÃO (HAB.)	TOTAL DE RSU DESTINADO (TON/ANO)	LOCAL DE DESTINAÇÃO
2012	26.810	8.030,00	CTR CONSELHEIRO JOSINO
2013	26.786	2.296,00	CTR CONSELHEIRO JOSINO
2014	26.724	3.239,00	CTR CONSELHEIRO JOSINO
2015	26.665	8.030,00	CTR CONSELHEIRO JOSINO
2016	26.607	1.634,70	MADALENA TRATAMENTO DE RESÍDUOS URBANOS
2017	26.551	3.428,20	MADALENA TRATAMENTO DE RESÍDUOS URBANOS
MÉDIA	26.637	4.083	

Percebe-se que a quantidade RSU destinada varia, consideravelmente, ao longo dos anos, independente do crescimento ou redução do número populacional, o que coincide com a correlação linear positivamente fraca (0,32) encontrada na análise estatística. Além disso, os anos 2012 e 2015, segundo declaração ao SNIS, apresentaram a mesma quantidade de materiais destinados a aterramento.

Sobre a coleta seletiva e reciclagem de resíduos, o município declara não possuir coleta diferenciada de materiais. Todavia, o município recuperou, entre os anos de 2012 e 2017, cerca de 8.600 toneladas de material reciclável (SNIS, 2019).

Existem, ainda, dados a respeito da destinação de RSU para a Unidade de Tratamento Intensivo do Lixo de Miracema (UTIL), área criada para reciclagem e compostagem, anos atrás, que acabou por ser tornar, devido a uma gestão ineficiente, um vazadouro irregular (PREFEITURA MUNICIPAL DE MIRACEMA, 2017). Em 2015, no entanto, iniciou-se na área um trabalho de retirada e destinação dos resíduos dispostos irregularmente, por meio do trabalho dos associados da Cooperativa de Catadores de Recicláveis de Miracema (COOPERCREEM), com o apoio da Prefeitura Municipal (MENEZES, 2015). Porém, acredita-se que, atualmente, a área venha servindo de local de recebimento e triagem de materiais recicláveis coletados no município, visto que sua administração é realizada por cooperativa de catadores, conforme informações do SNIS.

4.2. Avaliação de uso do CTR Conselheiro Josino e sua relação com os Consórcios Municipais

Construído para ser um destino seguro e legal para os resíduos gerados no município de Campos dos Goytacazes, outrora enviados para o vazadouro “Lixão da Codin”, o Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) Conselheiro Josino entrou em operação em 2011, com uma vida útil prevista de 30

anos (PMCG, 2014). Desta forma, Campos dos Goytacazes passou a fazer parte do seleto grupo de municípios brasileiros que atendem a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010) e a Política Estadual de Resíduos Sólidos do Rio de Janeiro – PERS/RJ (RIO DE JANEIRO, 2003), descartando os RSU que gera apenas em aterros sanitários e desativando o vazadouro municipal.

Para construção do Centro de Tratamento, foram investidos cerca de R\$ 5 milhões (PMCG, 2011), viabilizados pela prefeitura, através da Secretaria de Serviços Públicos, atual Secretaria de Desenvolvimento Ambiental, e pela concessionária Vital Engenharia, responsável pela obra (PMCG, 2014), e pela administração e operação do CTR atualmente.

Como já discutido, o CTR Conselheiro Josino não recebe apenas os RSU produzidos no município, servindo de destino para resíduos produzidos tanto na região Norte, quanto na região Noroeste Fluminense, mesmo que alguns desses municípios estejam distantes do local sede do Centro de Tratamento, como, a título de exemplo, Miracema, 140 km, Laje do Muriaé, 137 km, e Itaperuna, 108 km. O que gera maiores custos para as prefeituras, no que tange a logística de transporte dos resíduos.

Segundo a Concessionária responsável pela administração do Centro de Tratamento, o CTR foi projetado para atender todos os municípios das Regiões Norte e Noroeste Fluminense. De forma que, no ano de 2014, o CTR Conselheiro Josino recebia, em média, 13 mil ton./mês, o que correspondia de 35 a 40% da capacidade mensal do aterro (PMCG, 2014). Quatro anos depois, a quantidade de RSU recebida no CTR teve pouca variação, ficando em torno de 13.300 ton./mês. Todavia, 26% desse montante provém de outros municípios e de coleta realizada por terceiros para aterramento no CTR Conselheiro Josino (PMCG, 2018a).

No entanto, não se tem conhecimento, apesar de ter sido solicitado a PMCG informações a respeito, sobre a existência de contrato entre os municípios, caracterizando um Consórcio Municipal, para utilização do CTR Conselheiro Josino. De forma que as prefeituras de outros municípios estão encaminhando os resíduos coletados para aterramento em Campos através de contrato direto com a concessionária (PMCG, 2014). Segundo o Secretário Municipal de Serviços Públicos do município de Campos (CAMPOS 24 HORAS *apud* TORRES, 2014), o município de Campos dos Goytacazes recebe 5% do valor previsto em cada contrato firmado entre a concessionária e os municípios, como forma de compensação. Contudo, a não existência de um Consórcio Municipal firmado entre as Prefeituras gera uma série de problemas para todos os municípios.

De início tem-se a insegurança e dificuldade de planejamento advinda da falta de certeza de que todos os municípios irão permanecer enviando seus RSU para o Centro de Tratamento. Exemplos disso são os casos dos municípios de Laje do Muriaé e Miracema, que passaram a enviar seus resíduos para o MTR Madalena Tratamento de Resíduos Urbanos Ltda e não mais para o CTR Conselheiro

Josino, e o município de Itaperuna que voltou a utilizar vazadouro a céu aberto para destinação dos materiais, apesar de contra a lei.

Se existisse um Consórcio firmado entre as administrações das Prefeituras, o município de Campos dos Goytacazes e a Vital Engenharia poderiam planejar investimentos e manutenções no aterro sanitário, prever a necessidade de possíveis expansões, bem como definir projetos, programas e atividades a serem custeadas com os valores arrecadados e economizados por meio do compartilhamento dos custos de operação e manutenção do CTR. Podendo, até mesmo, ser implementado no CTR um sistema de reaproveitamento dos gases gerados, fato que não acontece atualmente, reduzindo consideravelmente o impacto ambiental associado ao aterro sanitário

Além disso, a falta de um instrumento legal, firmado entre entidades públicas, deixa as prefeituras à mercê das decisões da Vital Engenharia, que pode, inclusive, rescindir contratos sem a necessidade de consulta a Prefeitura de Campos dos Goytacazes.

Ressalta-se, ainda, que a não existência de programas consolidados de coleta seletiva e reciclagem nos municípios, com exceção de Campos dos Goytacazes que apresenta uma estrutura mais desenvolvida, reduz consideravelmente a utilização eficiente da área de confinamento de resíduos do CTR Conselheiro Josino. Sendo assim, grande quantidade de materiais passíveis de reaproveitamento é destinada tal quais os rejeitos, gerando perdas de matérias prima, energia, problemas ambientais e socioeconômicos, redução da vida útil do aterro e, por fim, descumprimento das legislações ambientais que estabelecem uma ordem prioritária para gerenciamento de RSU. Por outro lado, se firmado um Consórcio entre os municípios, seria possível implementar, de forma conjunta, programas e metodologias de coleta, triagem e reaproveitamento dos resíduos recicláveis, além de promoção da educação ambiental em todos os municípios.

Ademais, as análises financeiras e ambientais, necessárias para o firmamento do Consórcio Municipal, poderiam explicitar se é vantajoso para todos os municípios, especialmente os mais distantes do CTR, permanecerem enviando seus RSU para Campos. Indicando, inclusive a necessidade de criação de um novo aterro sanitário para atendimento dessas Cidades. No mais, durante esses mesmos estudos, o município de Campos, diretamente afetado pela existência do CTR, poderia concluir que receber resíduos de outros tantos municípios está gerando impactos negativos grandes o suficiente a ponto de inviabilizar esses recebimentos, ou criar a necessidade de aumento da cobrança realizada como compensação.

Sem essas análises, no entanto, nenhuma das partes pode afirmar se o modelo de gerenciamento adotado está sendo eficiente ou somente uma despesa criada para cumprimento de normas, sem se preocupar em atender, contudo, o objetivo maior da PNRS e da PERS/RJ que é a proteção do meio ambiente através de práticas sustentáveis.

Neste contexto, o compartilhamento de custos, equipe técnica e equipamentos entre os municípios utilizadores do CTR Conselheiro Josino possibilitaria o Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos de forma regional, gerando redução de custos e ganhos diversos, nas esferas econômica, social e ambiental, para todos os agentes, sobretudo a sociedade atual e futura.

5. CONCLUSÃO

Fica claro desta forma, que o município de Campos dos Goytacazes/RJ apresenta considerável importância regional no que tange a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU). De forma que o Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) Conselheiro Josino se coloca como ferramenta indispensável para a redução de impactos ambientais e cumprimento das legislações, referentes aos RSU, nas regiões Norte e Noroeste Fluminense.

No entanto, os resultados mostraram que alguns municípios ainda não cumprem as exigências das Políticas Nacional e Estadual de Resíduos Sólidos, no que tange a destinação final de RSU e elaboração dos Planos Municipais de Gerenciamentos de Resíduos.

Ademais, foi possível notar pouco ou nenhum investimento das Prefeituras, de modo geral, quanto à promoção da coleta seletiva e recuperação de materiais recicláveis, o que prejudica a operação do CTR Conselheiro Josino. Desta forma, a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos ainda encontra como obstáculo as questões financeiras e de investimento técnico, visto a inconclusão de Planos Municipais de Resíduos Sólidos e falta de programas visando a sensibilização ambiental da população.

A falta de um Consórcio Público entre os municípios, por sua vez, impossibilita a realização de planejamentos e melhoria contínua do CTR Conselheiro Josino e da gestão dos RSU, como um todo, na região.

Ressalta-se, ainda, que as inconsistências encontradas durante as análises dos dados coletados, possivelmente frutos de lançamentos equivocados de dados no sistema SNIS, já que as informações são declaradas pelos próprios gestores municipais, acabaram por ser um limitador, impossibilitando maiores discussões a respeito do tema. Soma-se a isso, a carência de dados primários disponíveis, bem como inexistência de portais de comunicação municipal onde fosse possível consultar e confrontar os dados levantados, o que gerou grande dificuldade de traçar um panorama real da situação do gerenciamento de RSU nos municípios estudados e, conseqüentemente, uma análise mais aprofundada da eficiência de uso do CTR Conselheiro Josino.

A respeito da falta de correspondência entre o crescimento da população e a coleta/destinação de resíduos, identificada a partir das análises estatísticas, pode-se supor uma variação no investimento em políticas e ações públicas no que tangem o gerenciamento de RSU. Fato preocupante visto a relação

direta entre o descarte irregular de RSU e os impactos sociais, ambientais e de saúde pública.

Por fim, recomenda-se que, em próximas pesquisas, seja realizada a consulta direta às Prefeituras dos municípios objetos de estudo, a fim de levantar dados e, assim, possibilitar comparações entre esses e as informações declaradas ao Sistema Nacional, corroborando para a confecção de um panorama real da situação atual de gestão e gerenciamento de RSU da região.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRUCIO, F. L.; FILIPPIM, E. S.; DIEGUEZ, R. C. Inovação na cooperação intermunicipal no Brasil: a experiência da Federação Catarinense de Municípios (Fecam) na construção de consórcios públicos. **Revista de Administração Pública**, rio de janeiro, v. 47, n. 6, p.1543-1568, dez. 2013. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rap/article/view/13987>. Acesso em: 17 mai. 2019.

ANDREOLI, C. V.; ANDREOLI, F. N.; TRINDADE, T. V.; HOPPEN, C. Resíduos sólidos: origem, classificação e soluções para destinação final adequada. **Coleção Agrinho**, p. 531-552, [2014?]. Disponível em: <http://www.agrinho.com.br/materialdoprofessor/residuos-solidos-origem-classificacao-e-solucoes-para-destinacao-final-adequada>. Acesso em: 13 mar. 2019

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016**. São Paulo, 2017. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/>. Acesso em: 17 mai. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017**. São Paulo, 2018. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/>. Acesso em: 17 mai. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma brasileira NBR 8419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma brasileira NBR 8849**: Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 1985.

BRANDÃO, A. O; SILVA, G. N. Impactos econômicos da implantação de aterros sanitários individuais nos municípios brasileiros. **Holos**, Mossoró, v. 3, n. [], p.84-96, jul. 2011. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/586>. Acesso em: 17 mai. 2019.

BRASIL. **Cartilha de Consórcios Públicos de Saneamento Básico**: explicitando os caminhos, as experiências e as vantagens da cooperação interfederativa no saneamento / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde; Universidade Federal do Rio de Janeiro– Rio de Janeiro: UFRJ, 2017.

BRASIL. Lei nº 9795, de 27 de abril de 1999. **Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências**. Brasília, 27 abr. 1999.

BRASIL. Resolução Conama nº 316, de 29 de outubro de 2002. **Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de Sistemas de Tratamento Térmico de Resíduos**. Brasília, 29 out. 2002.

BRASIL. Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005. **Dispõe sobre Normas Gerais de Contratação de Consórcios Públicos e dá outras Providências**. Brasília, 6 abr. 2005.

BRASIL. Lei nº 12305, de 02 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**. Brasília, 03 ago. 2010.

CALDERONI, S. Os bilhões perdidos no lixo. 4. ed. São Paulo: **Humanitas editora**, 2003.

CAMPOS DOS GOYTACAZES. Lei Municipal Nº 8.232 de 15 de junho de 2011. **Política Municipal de Resíduos Sólidos**. Campos dos Goytacazes, 15 jun. 2011.

CARDOSO MOREIRA NEWS. **Com o fim do lixão, Cardoso Moreira vai destinar resíduos para aterro sanitário**. 2016. Disponível em: <http://www.cardosomoreiraneews.com/2016/08/com-o-fim-do-lixao-cardoso-moreira-vai.html>. Acesso em: 17 mai. 2019.

CHERUBINE, M., TREVAS, V. Consórcios públicos e as agendas do Estado brasileiro. **Editora Fundação Perseu Abramo**. São Paulo, 2013. Disponível em: <https://fpabramo.org.br/publicacoes/estante/consorcios-publicos-e-as-agendas-do-estado-brasileiro/> Acesso em: 17 mai. 2019.

COUTINHO, N. C.; VIEIRA, C. M. F.. Caracterização e incorporação de cinza de resíduo sólido urbano em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, [s.l.], v. 62, n. 363, p.249-255, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132016623631985>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132016000300249&script=sci_abstract. Acesso em: 17 mai. 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: Nota Técnica DEA 18/14**. MME, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em 17 mai. 2019.

GUTBERLET, J. O custo social da incineração de resíduos sólidos: recuperação de energia em

detrimento da sustentabilidade. **Revista Geográfica de América Central**, Costa Rica, v. 2, n. 47, p.1-16, jun. 2011.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: **Atlas**, 1991.

MACEDO, M. A. A. P. T.; RAMOS, M. C. P. Educação Ambiental e Resíduos Sólidos Urbanos: Caminho para um Futuro Sustentável. **Eduser**, Porto, v. 7, n. 2, p.41-57, [s.i.]. 2015. Disponível em: <https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/14150/1/Macedo%2c%20Ramos.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2019.

MACHADO, J. A.; ANDRADE, M. L. C. Cooperação intergovernamental, consórcios públicos e sistemas de distribuição de custos e benefícios. **Revista de Administração Pública**, [s.l.], v. 48, n. 3, p.695-720, jun. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0034-76121626>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-76122014000300008&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 17 mai. 2019.

MAIELLO, A.; BRITTO, A. L. N. de P.; VALLE, T. F. Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Revista de Administração Pública**, [s.l.], v. 52, n. 1, p.24-51, jan. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0034-7612155117>. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rap/v52n1/1982-3134-rap-52-01-24.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2019.

MARANHO, A. S. **Potencial de geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos para Bauru e região**. 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/90827>. Acesso em: 17 mai. 2019.

MENEZES, H. G. **Espaço da ex-UTIL dá lugar a Coopercreem, em Miracema**. Blog Miracema. RJ, 27 mai. 2015. Disponível em: <http://miracemaestadodorj.blogspot.com/2015/05/espaco-da-ex-util-da-lugar-coopercreem.html>. Acesso em: 20 mar. 2019.

MORAES, J. L. Dificuldades para o aproveitamento energético de resíduos sólidos através da incineração no Brasil. **Geosaberes-revista de Estudos Geoeducacionais**, Fortaleza, v. 6, n. 3, p.173-180, fev. 2016.

NASCIMENTO, L. L. O. Avaliação comparativa entre a política nacional de resíduos sólidos e a política municipal de resíduos da cidade de Campos dos Goytacazes. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, [s.l.], v. 11, n. 2, p.19-30, 28 dez. 2017. Essentia Editora. <http://dx.doi.org/10.19180/2177-4560.v11n22017p19-30>. Disponível em: <http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/boletim/article/view/9897>. Acesso em: 17 mai. 2019.

PORTAL G1. **São João da Barra, RJ, lança coleta seletiva no comércio do Centro.** 2014. Disponível em: <http://g1.globo.com/rj/norte-fluminense/noticia/2014/06/sao-joao-da-barra-rj-lanca-coleta-seletiva-no-comercio-do-centro.html>. Acesso em: 17 mai. 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPOS DOS GOYTACAZES (PMCG). **Aterro Sanitário de Conselheiro Josino entra em funcionamento.** 2011. Disponível em: https://www.campos.rj.gov.br/exibirNoticia.php?id_noticia=6261. Acesso em: 17 mai. 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPOS DOS GOYTACAZES (PMCG). **Aterro Sanitário de Conselheiro recebe lixo de seis municípios.** 2014. Disponível em: https://www.campos.rj.gov.br/exibirNoticia.php?id_noticia=26880. Acesso em: 17 mai. 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MIRACEMA. **Um dia histórico – UTIL.** 2017. Disponível em: http://www.miracema.rj.gov.br/ver_noticia.php?n=893. Acesso em: 17 mai. 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPOS DOS GOYTACAZES (PMCG). **Alunos de Meio Ambiente visitam Aterro Sanitário de Conselheiro Josino.** 2017. Disponível em: https://www.campos.rj.gov.br/exibirNoticia.php?id_noticia=40280. Acesso em: 17 mai. 2019

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPOS DOS GOYTACAZES (PMCG). **Perfil 2018.** 2018a. Disponível em: <https://www.campos.rj.gov.br/newdocs/1542233062PERFILCAMPOS2018.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPOS DOS GOYTACAZES (PMCG). **Ofício 148/2018 – Gestão de Resíduos.** 27 nov. 2018b. [NÃO PUBLICADO]

RAMOS, P. V. T. A.; GUARIDO, C. E. M.; PIRES, G. D.; SILVEIRA, C. R. D. A. A gestão ambiental: melhoria do processo produtivo no tratamento de resíduos sólidos urbanos com recuperação energética. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 4, n. 5, p.2081-2096, jun. 2018. Edição Especial. Disponível em: <http://brjd.com.br/index.php/BRJD/article/view/240/199>. Acesso em: 17 mai. 2019.

REZENDE, A. B. **Avaliação do potencial energético e econômico do tratamento, destinação e reutilização de resíduos sólidos urbanos (RSU).** 2015. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Energia, Programa de Pós-graduação em Engenharia da Energia, Universidade Federal de São João del Rei, São João del Rei, 2015. Disponível em: https://www.ufsj.edu.br/portal2-epositorio/File/mestradoenergia/Dissertacoes/2011/Dissertacao_Andrea%20Bryner.pdf Acesso em: 17 mai. 2019.

RIBEIRO, A. **Prefeitura assina Plano de Resíduos Sólidos.** Blog do Adilson Ribeiro, 12 abr. 2017.

Disponível em: <https://adilsonribeiro.net/2017/04/12/itaperuna-quarta-feira-1600-prefeitura-assina-plano-de-residuos-solidos/>. Acesso em: 17 mai. 2019.

RIO DE JANEIRO. Lei nº 4191, 30 de setembro de 2003. **Dispõe sobre a política estadual de resíduos sólidos e dá outras providências**. Rio de Janeiro, 30 set. 2003.

RODRIGUES, R. **Modelagem e simulação de um gaseificador em leito fixo para o tratamento térmico de resíduos sólidos da indústria calçadista**. 2008. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Química., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/15948>. Acesso em: 02 out. 2018.

SALES, C. W. **Avaliação da Contaminação do Solo e da Água Subterrânea na Área do Lixão de São Francisco de Itabapoana**. 2011. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Ambiental, Instituto Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2011. Disponível em: <http://bd.centro.iff.edu.br/bitstream/123456789/670/3/Documento.pdf>. Acesso em: 17 maio 2019.

SECRETARIA DE ESTADO DO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE (SEAS). **Lixão de Japeri tem atividades encerradas**. 2014. Governo do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://rj.gov.br/web/sea/exibeconteudo?article-id=2164686>. Acesso em: 17 mai. 2019.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Série histórica – Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 17 mai. de 2019.

TORRES, R. S. G. Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos nos municípios localizados na área de influência direta do Complexo do Porto do Açu: diagnóstico e propostas. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 8, n. 1, p. 135–154, mai. 2015.

VIEIRA, P. L.; BELTRAME, L. T. C. Educação ambiental: resposta para o problema de resíduos sólidos urbanos. In: 8º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, 8., 2017, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Instituto Venturini, 2017. p. 1 - 9. Disponível em: <http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/416/295>. Acesso em: 17 mai. 2019.

ARTIGO CIENTÍFICO 2

TRATAMENTO TÉRMICO COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO COMO ALTERNATIVA PARA GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NOS MUNICÍPIOS UTILIZADORES DO CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS CONSELHEIRO JOSINO, CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ

THERMAL TREATMENT WITH ENERGY ACQUISITION AS AN ALTERNATIVE FOR THE INTEGRATED MANAGEMENT OF URBAN SOLID WASTE IN THE MUNICIPALITIES USERS THE WASTE TREATMENT CENTER CONSELHEIRO JOSINO, CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ

Micaela Chagas de Almeida dos Anjos - IFFluminense/PPEA

RESUMO

O presente artigo objetiva apresentar a tecnologia de tratamento térmico de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), por meio de incineração com aproveitamento energético, como alternativa para composição do modelo de gerenciamento de resíduos nos municípios utilizadores do Centro de Tratamento de Resíduos Conselheiro Josino, em caso de escassez de áreas para implantação de novo aterro sanitário. Para tanto utilizou-se o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) para obtenção informações a respeito do número populacional e geração de RSU pelos municípios de Campos dos Goytacazes, São João da Barra, São Francisco de Itabapoana, Italva, Itaperuna, Laje do Muriaé e Miracema, e publicações técnicas e acadêmicas para levantamento de dados referentes a composição gravimétrica de RSU e potencial calorífico de materiais. Foram realizados cálculos algébricos a fim de determinar a quantidade de energia possível de ser produzida com o aproveitamento térmico de RSU e a parcela de população possível de ser atendida, considerando a formação de Consórcio Municipal entre os municípios definidos para estudo (cenário 1) e o tratamento dos resíduos produzidos apenas em Campos dos Goytacazes (cenário 2), para duas hipóteses de segregação, sendo a primeira com segregação prévia de todos os recicláveis existentes (hipótese A) e a segunda com retirada apenas de materiais recicláveis inertes (hipótese B). Com isso, demonstrou-se que a melhor perspectiva de geração seria obtida com o cenário 1 em conjunto com a hipótese de segregação B que permitiria uma geração de energia elétrica diária de 476.636,43 kWh, suficiente para abastecer cerca de 10% da população total do municípios estudados. Reafirmando a relevância de firmamento de Consórcios Públicos intermunicipais para maior eficiência de sistemas de gestão e gerenciamento de RSU.

Palavras chave: Tratamento Térmico de RSU. Reaproveitamento Energético. Incineração Controlada. Geração de Energia. Energia a partir de RSU.

ABSTRACT

This article aims to present the technology of thermal treatment of Solid Urban Waste (MSW), through incineration with energy acquisition, as an alternative for the composition of the waste management model in the municipalities that use the Waste Treatment Center Conselheiro Josino, in case scarcity of areas for the implementation of a new landfill. For this purpose, the National Sanitation Information System (SNIS) was used to obtain information regarding the population number and MSW generation by the municipalities of Campos dos Goytacazes, São João da Barra, São Francisco de Itabapoana, Italva, Itaperuna, Laje do Muriaé and Miracema, and technical and academic publications for collecting data on the gravimetric composition of MSW and the calorific potential of materials. Algebraic calculations were carried out in order to determine the amount of energy possible to be produced with the thermal exploitation of MSW and the portion of population possible to be served, considering the formation of a Municipal Consortium between the municipalities defined for study (scenario 1) and the treatment of waste produced only in Campos dos Goytacazes (scenario 2), for two segregation hypotheses, the first with prior segregation of all existing recyclables (hypothesis A) and the second with removal of only inert recyclable materials (hypothesis B). With that, it was demonstrated that the best generation perspective would be obtained with scenario 1 together with the hypothesis of segregation B that would allow a daily electricity generation of 476,636.43 kWh, enough to supply about 10% of the total population of the municipalities studied. Reaffirming the relevance of firming inter-municipal Public Consortia for greater efficiency of MSW management and management systems.

Keywords: *Thermal Treatment of MSW. Energy Reuse. Controlled Incineration. Power generation. Energy from MSW.*

1. INTRODUÇÃO

Com avanço do conhecimento a respeito dos impactos ambientais consequentes de tratativas ineficazes dadas a resíduos sólidos urbanos (RSU), a temática da gestão sustentável desses materiais tornou-se palco de grandes discussões no panorama nacional, no que tange, especialmente, aos desafios encontrados ao longo das etapas do processo de gerenciamento de RSU (PALERMO, BRANCO & FREITAS, 2020).

Apesar dos incentivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em vigor desde 2010, para promoção de novas tecnologias para aproveitamento de RSU, segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 43,3 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos foram dispostos em aterros sanitários no ano de 2019 (ABRELPE, 2020), sendo essa a opção de destinação mais comum adotada pelo Brasil, por conta do baixo custo e da disponibilidade de áreas, aparentemente, em abundância.

Todavia, esse processo de destinação, na grande maioria das vezes sem aproveitamento energético, tem levado a práticas operacionais inadequadas entre as regiões brasileiras, sobretudo as mais pobres, acarretando falhas de gestão e ineficiência do sistema, em virtude da escassez de recursos financeiros pelas prefeituras somada as dificuldades enfrentadas para planejar, regular e promover a adequada operação dos serviços de manejo de RSU de forma isolada (SOARES, MIYAMARU & MARTINS, 2017). Por conseguinte, tem-se ainda a utilização de aterros controlados e vazadouros a céu aberto para descarte final de RSU gerados em 3.001 municípios brasileiros. Locais que receberam, só em 2019, 29,5 milhões de toneladas de RSU (ABRELPE, 2020), independentemente do seu alto potencial de poluição e prejuízos socioeconômicos.

Logo, o tratamento dado aos RSU gerados no Brasil ainda está muito aquém das práticas adotadas nos países mais desenvolvidos (SOARES, MIYAMARU & MARTINS, 2017). Problema que poderia ser remediado com investimentos em alternativas para construção de uma gestão integrada de resíduos sólidos intermunicipal, por meio dos consórcios públicos, buscando a sustentabilidade dos investimentos em práticas de reciclagem e tecnologias de reaproveitamento, incluídas na PNRS como opção de destinação ambientalmente adequada de RSU (BRASIL, 2010), que visam reduzir volume e massa dos resíduos, possibilitando, paralelamente, a produção de energia elétrica.

Neste contexto, o tratamento térmico de RSU, tendo como técnica mais difundida a incineração, se mostra uma alternativa interessante que merece ser estudada e avaliada, considerando seus processos dissipativos e seus impactos ambientais e socioeconômicos. Tratando-se de um processo em que os resíduos são destruídos por combustão, havendo redução de peso, volume e

periculosidade, o tratamento térmico contribui consideravelmente para aumento da vida útil dos aterros sanitários.

Visto isso, o presente artigo tem por objetivo apresentar a tecnologia de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos, por meio da incineração com reaproveitamento energético, como alternativa de composição do sistema de gerenciamento integrado de RSU nos municípios utilizadores do Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) Conselheiro Josino, operante no município de Campos dos Goytacazes/RJ, em caso de escassez de áreas viáveis para instalação de futuros aterros sanitários.

Propondo-se, desta forma, a estimar, por meio de equações algébricas, a quantidade de energia possível de ser produzida com o aproveitamento térmico dos resíduos sólidos urbanos gerados pelos municípios abordados neste estudo, expondo os aspectos de contribuição ambiental e socioeconômica da tecnologia apresentada ao sistema de gerenciamento de RSU, discorrendo sobre os pontos positivos e negativos associados ao reaproveitamento energético de resíduos, considerando diferentes configurações de implantação baseadas na Política Nacional de Resíduos Sólidos, visando a redução de custos para os municípios e o desenvolvimento socioambiental da região.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. O Processo de incineração de resíduos sólidos e suas características

2.1.1. Aspectos legais a respeito da incineração de resíduos sólidos

Segundo a resolução 316/2002, instituída pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), a incineração de resíduos sólidos urbanos se enquadra como um tratamento térmico de materiais e, como tal, deve atender a critérios técnicos fixados pela referida norma (BRASIL, 2002).

Desta forma, para controle ambiental do processo e de seus produtos e rejeitos, as plantas de incineração devem contar com sistemas de monitoramento contínuo dos controles operacionais e das emissões atmosféricas, da qualidade das águas subterrâneas e superficiais, do nível de ruído ambiental e da qualidade do ar e do solo (BRASIL, 2002; FEAM, 2012; REZENDE 2015).

A respeito das emissões atmosféricas, provenientes do processo de queima controlada dos RSU, deve-se buscar, como medida preventiva, por meio dos controles operacionais, a redução das emissões para a atmosfera (BRASIL, 2002; BOSMANS et al., 2013).

Quanto à análise da qualidade e composição dos gases emitidos, tem-se como padrão a, já citada, resolução CONAMA n° 316/2002 e a Diretiva Europeia 2010/75/EU, sendo a última mais restritiva (PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, 2010; BRASIL, 2002), conforme Tabela 1.

Tabela 1: Limites de emissões permitidos pelas legislações europeias e brasileiras. Fonte: Brasil (2002) e Parlamento Europeu e do Conselho (2010)

Limites de Emissão (mg/Nm³)	Diretiva Euro- peia 2010/75/EU	CONAMA 316/2002
	11% Vol O ₂ B.S	7% Vol O ₂ B.S
Poeira Total (MP)	10,0	70,0
Carbono Total	10,0	-
HCl	10,0	80,0
HF	1,0	5,0
So _x	50,0	280,0
No _x	200,0	560,0
CO	50,0	100,0
Dioxinas e Furanos	0,1 ng/m ³	0,5 ng/m ³

O sistema de tratamento de efluentes líquidos, quando produzidos, por sua vez, deve obedecer aos padrões estabelecidos pela resolução CONAMA n° 357/2005 (BRASIL, 2005).

Os rejeitos sólidos, por fim, deverão ser caracterizados conforme a NBR 10.004 (ABNT, 2004), a fim de verificar a classe de enquadramento do material e, assim, definir a melhor forma de reaproveitamento ou destinação final do mesmo (FEAM, 2012; REZENDE, 2015).

2.1.2. Descrição do processo

O processo de incineração, ao longo dos anos, sofreu importantes evoluções. Enquanto nas décadas de 50 e 60 o objetivo era apenas a redução de volume dos resíduos incinerados, sem preocupações com emissões atmosféricas, a partir de 1990, muito devido ao apelo popular, houve consideráveis investimentos em pesquisas para melhor desempenho energético das plantas, paralelo ao avanço dos sistemas de tratamentos de gases, buscando a emissão zero, e desenvolvimento de tecnologias para produção de rejeitos reaproveitáveis (HENRIQUES, 2004; LEITE, 2016; BERTON, 2016).

A incineração define-se como um processo de combustão controlada, que tem como princípio básico a reação do oxigênio com componentes combustíveis presentes no resíduo, como carbono, hidrogênio e enxofre, em temperatura superior a 800°C, convertendo sua energia química em calor (FEAM, 2012; BOSMANS et al., 2013; TAN et al., 2014).

Em termos gerais, um incinerador é um equipamento composto por duas câmaras, uma de combustão e outra de pós-combustão. O RSU é introduzido na primeira câmara, onde ocorre o processo de

combustão, entre as temperaturas de 800°C e 1.200°C, transformando os resíduos em gases, cinzas e escória (BOSMANS et al., 2013; BERTON, 2016).

Nessas condições controladas, evita-se a volatilização de grandes quantidades de metais presentes no RSU, como chumbo, cádmio, cromo, mercúrio, entre outros. Além disso, minimiza-se a formação de óxidos nitrosos, que surgem sob temperaturas mais elevadas. Os gases gerados nessa câmara primária são enviados para a pós-combustão, onde irá ocorrer a queima dos remanescentes (IBAM, 2001; HENRIQUES, 2004; MARANHO, 2008; QUEZADO, 2010; MACHADO, 2015; REZENDE, 2015; LEITE, 2016).

A segunda etapa é operada numa temperatura superior, entre 1200°C e 1400°C, durante um curto período de tempo, suficiente para que haja a combustão completa. O tempo de residência, representativo, para resíduos sólidos é de 30 minutos para o primeiro estágio e de 2 a 3 segundos para a combustão dos gases no segundo estágio. Em seguida, esses gases são rapidamente resfriados para evitar a recomposição das extensas cadeias orgânicas tóxicas, formadoras de dioxinas e furanos e, na sequência do processo, tratados por diversos métodos antes de serem lançados na atmosfera através de uma chaminé (IBAM, 2001; QUEZADO, 2010; MACHADO, 2015; REZENDE, 2015; LEITE, 2016).

Existe uma boa diversidade de tipos de fornos utilizados em processos de incineração, sendo os mais usados os de grelha fixa, leito fluidizado, de leito móvel e forno rotativo (REZENDE, 2015).

As principais exigências técnicas operacionais para a incineração de resíduos são: i) temperatura elevada na câmara de combustão; ii) teor de oxigênio elevado nos gases de combustão emitidos na chaminé; iii) turbulência elevada nos gases de combustão; iv) tempo de residência dos gases na câmara de pós-combustão; e v) sistema automático de intertravamento da alimentação do forno que deverá impedir a alimentação de resíduos sempre que ocorrer condições não ideais para uma boa operação da planta (FEAM, 2012).

A incineração deve ser encarada como um sistema complexo, com diversas interações químicas e físicas (LEITE, 2016). Podendo, todavia, ser ambientalmente correto desde que aliado à proteção do meio ambiente por meio de atividades de operação realizadas por equipes qualificadas e treinadas, adoção de equipamentos eficazes quanto ao controle de poluição, bem como, de técnicas adequadas de disposição final dos rejeitos gerados (MORGADO & FERREIRA, 2006; BOSMANS et al., 2013).

2.2 Potencial energético proveniente da incineração de resíduos sólidos

2.2.1. Potencial de geração

O sucesso do processo de incineração com aproveitamento energético depende, fundamentalmente, da eficiência da transformação do calor em energia elétrica, da transferência da maior quantidade de calor gerado durante a combustão e composição gravimétrica e poder calorífico dos RSU utilizados na grelha (MARANHO, 2008; ITO, 2014).

De forma geral, para uma maior eficácia de aplicação desta tecnologia, antes da operação de tratamento térmico dos resíduos sólidos, materiais componentes não combustíveis, normalmente metais e vidros passíveis de reciclagem, são removidos e o resíduo sólido urbano pode passar por uma operação preliminar, visando prepará-lo para a queima, constituindo assim o Combustível Derivado de Resíduo (ENGEBIO, 2010).

Em sua forma mais simples, o Combustível Derivado de Resíduo, ou CDR, apresenta-se como um material bruto na forma de flocos, produzido a partir de RSU de origens diversas (ENGEBIO, 2010; FEAM; 2012) que passaram por uma série de estágios de classificação, trituração, retirada de umidade e separação magnética de materiais ferrosos e não ferrosos (BOSMANS et al., 2013), apresentando-se, finalmente, como na Figura 1.

Figura 1: Aspecto do Combustível Derivado de Resíduos – CDR. Fonte: ENGEBIO (2010)



O CDR atrai a atenção como um importante método de reciclagem para resíduos, pois torna a recuperação de calor mais eficiente. Além disso, contribui para a redução das emissões de dioxinas através de uma gestão mais adequada da combustão. O RSU preparado desta forma apresenta um poder calorífico superior ao resíduo sólido urbano não tratado (ENGEBIO, 2010).

Outro fato importante para o processo é o poder calorífico, ou PC, que consiste na energia liberada pela combustão e varia de acordo com o teor de umidade do combustível. O PC pode ser dividido em dois tipos: i) poder calorífico superior, conhecido como PCS; e ii) poder calorífico inferior, comumente tratado como PCI. O primeiro considera que a água contida no combustível, neste caso os resíduos, não evapora durante o processo de queima, enquanto o PCI leva em consideração que a água contida nos resíduos seja vaporizada, necessitando para isso de um gasto energético, sendo, portanto, mais fiel a realidade (ITO, 2014).

Os melhores componentes do RSU para incineração são os que apresentam um valor elevado de PCI, como plásticos e papel/papelão, embora a classificação segundo o PCI não deva ser considerada definitiva para estabelecer a destinação do RSU (FEAM, 2012; EPE, 2014). Com base nos componentes dos RSU brasileiro, tem-se a Tabela 2, apresentando o valor de PCI de cada componente, em kcal/kg.

Tabela 2: Potencial calorífico inferior típico do RSU brasileiro. Fonte: Adaptado de FEAM (2012)

MATERIAS	PCI (kcal/kg)
Papel/ Papelão	2729,00
Plástico	8193,00
Metais	-
Vidros	-
Orgânicos	712,00
Diversos	13044,00
TOTAL	24678,00

O rendimento térmico do processo de combustão de Resíduos sólidos urbanos com recuperação de energia pode variar, segundo Maranhão (2008), entre 20 e 40%, dependendo de vários fatores relacionados ao combustível, ao tipo de equipamento utilizado e a rotina operacional. Lombardi, Carnevale e Corti (2015), contudo, definem esse valor como 30%, assim como Scarlat et al. (2015).

O consumo de energia elétrica do processo, para manutenção da própria planta de incineração, é estimado entre 10 a 15% do total de energia gerada, o que pode aumentar para 21% quando realizados pré-tratamentos para produção de CDR (SANTOS, 2013; LOMBARDI, CARNEVALE & CORTI, 2015).

Desta forma, a incineração aparece como um dos caminhos para se produzir energia elétrica a partir de RSU.

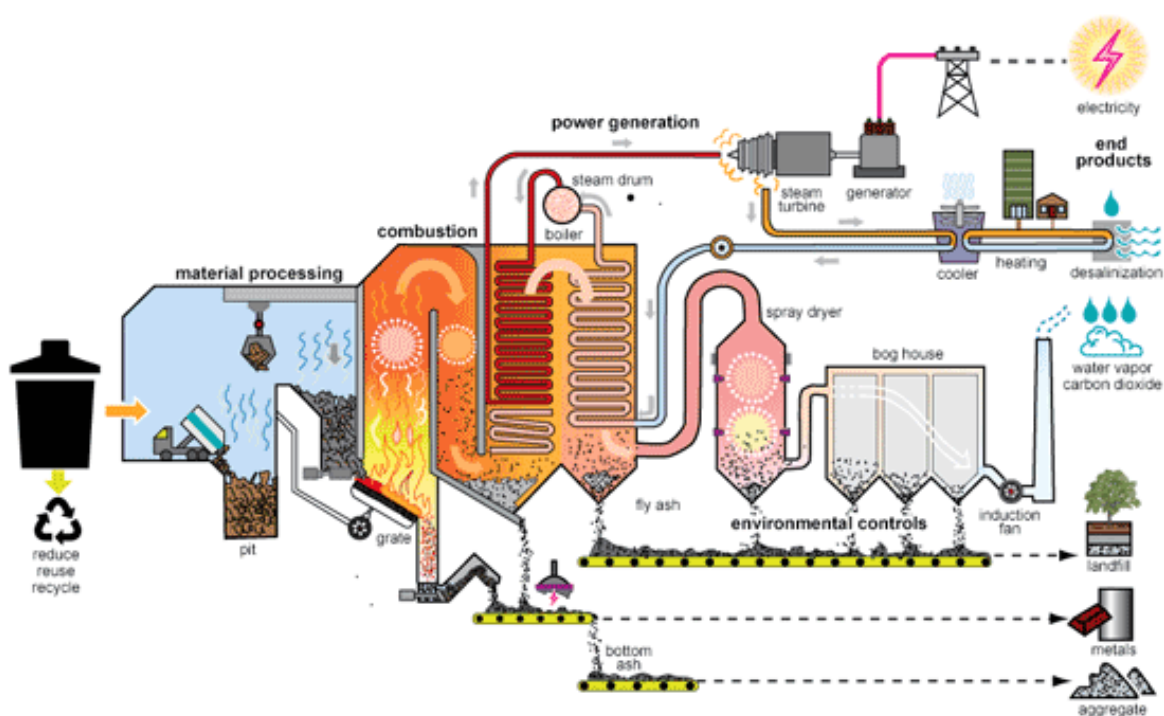
2.2.2. O processo termoelétrico utilizando o resíduo sólido urbano como combustível

Basicamente, o funcionamento de uma usina termoelétrica movida a RSU consiste na transformação da energia térmica, proveniente dos resíduos sólidos urbanos, em energia mecânica, que, por sua vez, será convertida em energia elétrica. Processo baseado no conhecido Ciclo de Rankine, ideal para centrais elétricas a vapor, sendo fundamental para todas as centrais que produzem energia onde um fluido de trabalho, neste caso a água, é continuamente evaporado e condensado. (ITO, 2014; TAN et al., 2014; MACHADO, 2015; LOPES, 2016).

O processo de geração de eletricidade em plantas de incineração de resíduos pode ser resumido em algumas etapas: i) os resíduos, ou CDR, são despejados dos caminhões coletores para o foço de recebimento; ii) uma garra retira os resíduos do foço e despeja em uma câmara (forno) de combustão; iii) os RSU, que agora são combustíveis, são queimados, liberando calor; iv) o calor produzido transforma a água em vapor em uma caldeira; v) o vapor gerado, em alta pressão, movimenta as turbinas de um gerador, produzindo eletricidade; vi) condensa-se o vapor gerado, retornando-o em forma de água líquida para a caldeira; vii) um sistema de controle de poluição remove poluentes do gás de combustão antes de libera-lo, através de chaminé; viii) as cinzas são coletadas da caldeira e do sistema de controle da poluição do ar, caracterizadas e destinadas corretamente (EIA, 2017).

A Figura 2 representa uma planta de incineração de resíduos com aproveitamento energético.

Figura 2: Planta de incineração com geração de energia. Fonte: EIA (2017)



No processo de incineração, de forma geral, os resíduos sólidos são oxidados formando materiais particulados e produtos gasosos como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), vapor de água (H₂O), dióxido de enxofre (SO₂), gases ácidos (HF, HCl), óxidos de azoto (NO_x), compostos orgânicos voláteis (COV's), metais e, em alguns casos, compostos orgânicos, como dioxinas e furanos (ENGEBIO, 2010; FEAM, 2012; SANTOS, 2013).

O uso de modernas tecnologias para controle de efluentes gasosos, importante contribuinte para os custos do sistema, vem reduzindo as emissões de gases para a atmosfera e, conseqüentemente, os riscos de poluição do processo (QUEZADO, 2010; BOSMANS et al., 2013).

O tratamento dos gases produzidos envolve processos físicos e químicos, havendo uma grande variedade de opções de conformação e equipamentos, visando reduzir a emissão de poluentes para a atmosfera, de forma a permitir o atendimento aos padrões de emissão de fontes fixas e de qualidade do ar estabelecidos (MORGADO & FERREIRA, 2006; FEAM, 2012).

Os equipamentos mais comuns utilizados para tratar os gases gerados no processo de incineração são os precipitadores eletroestáticos, filtros de manga e lavadores de gases (ENGEBIO, 2010; ITO, 2014). Em algumas conformações utilizam-se outros sistemas, como lavadores venturi e ciclones, conforme Tabela 3.

Tabela 3: Características dos equipamentos utilizados no tratamento de gases produzidos na incineração. Fonte: Adaptado de FEAM (2012)

Equipamento	Diâmetro das partículas (µm)	Eficiência global típica (%)
Ciclone	>10	85
Lavador tipo Venturi	> 0,3 - 1,0	99
Filtro de mangas	> 0,5 - 1,0	99
Precipitador eletroestático	> 0,001	99

As tecnologias empregadas no processo de incineração fazem parte do controle da poluição do ar, de forma que técnicas podem ser aplicadas visando melhor desempenho na combustão de resíduos e diminuição das emissões gasosas. Além dos equipamentos de controle das emissões gasosas e das tecnologias utilizadas, a efetividade de um sistema de controle de poluição do ar requer monitoramento contínuo. Para isso, um sistema deve ser instalado e equipado para medir e gravar os vários parâmetros, para que estejam em conformidade com as normas legais vigentes e que não afetem a qualidade do ar e conseqüentemente a saúde da população adjacente (ENGEBIO, 2010).

É possível constatar, portanto, que o ponto crítico de aceitabilidade da tecnologia de incineração de RSU, que é a emissão de gases poluentes, é totalmente passível de solução, o que já vem sendo executado em inúmeras unidades instaladas em diversos países (QUEZADO, 2010; LEITE, 2016).

3. METODOLOGIA

Para apresentação do tratamento térmico com aproveitamento energético, a partir de incineração controlada, como etapa integrante do modelo de gestão integrada de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), realizou-se coleta de informações técnicas através de Revisão Bibliográfica e acesso ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), onde foi possível verificar o quantitativo de geração de RSU e o número populacional dos municípios definidos como recorte espacial para esta pesquisa.

Definiu-se, para análise, o ano de 2017, de forma que os resultados obtidos com este artigo possam complementar as discussões realizadas no Diagnóstico da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos nos Municípios Utilizadores do Centro de Tratamento de Resíduos Conselheiro Josino, Campos dos Goytacazes/RJ, sob a Perspectiva dos Consórcios Públicos. Com relação ao recorte espacial, utilizou-se os municípios de Campos dos Goytacazes, São João da Barra, São Francisco de Itabapoana, Italva, Itaperuna, Laje do Muriaé e Miracema. Para tanto, considerou-se que os municípios de Italva e Itaperuna interromperiam a destinação inadequada de seus resíduos, destinando os mesmos para o aterro sanitário CTR Conselheiro Josino, enquanto os municípios de Laje do Muriaé e Miracema voltariam a destinar RSU no município de Campos dos Goytacazes. Por fim, ressalta-se que, não foi incluído nesta análise, o município de Cardoso Moreira, devido a inexistência de dados, referentes ao ano estudado, para consulta no SNIS.

A Tabela 4 apresenta os dados de geração de resíduos sólidos urbanos e número populacional dos municípios considerados neste estudo com base no ano de 2017.

Tabela 4: Dados de geração de RSU e número populacional dos municípios considerados no estudo

	Geração de RSU (kg/ano)	Número Populacional (hab.)
Campos dos Goytacazes	116.895.000,00	490.222
São João da Barra	10.379.000,00	35.174
São Francisco de Itabapoana	8.600.000,00	41.191
Italva	16.000.000,00	14.723
Itaperuna	47.800.000,00	99.997
Laje do Muriaé	908.000,10	7.217
Miracema	3.428.000,20	26.551

A partir dos dados levantados, tornou-se possível a realização cálculos algébricos a fim de determinar a obtenção possível de energia elétrica utilizando RSU como combustíveis. Para tanto, a presente pesquisa baseou-se nos estudos realizados por Maranhão (2008) e Rezende (2015).

Definiu-se dois cenários para tratamento de RSU com aproveitamento energético. O primeiro considerou a formação de Consorcio Municipal entre os municípios definidos para estudo, de forma que esses enviariam os RSU coletados para a usina de tratamento. Já o segundo cenário, avaliou apenas a conversão dos resíduos produzidos no município de Campos dos Goytacazes. Para ambos os cenários, foram consideradas duas hipóteses de segregação. Na hipótese A, seriam segregados papel/papelão, plásticos, metais e vidros, sendo esses encaminhados para reciclagem. Já na hipótese B, seriam segregados apenas os resíduos inertes, como metais e vidros.

Foi possível determinar a geração total de resíduos sólidos urbanos, para este estudo, a partir da Equação 1.

$$M_{RSU/DIA} = n * GPC \quad (1)$$

Sendo, $M_{RSU/DIA}$ a quantidade estimada de geração de resíduos por dia nos dois cenários idealizados (kg/dia); n o número de habitantes responsáveis pela geração de RSU (hab.); e GPC a geração per capita de RSU (kg/hab./dia).

Para o presente estudo, foram selecionados como componentes dos resíduos sólidos urbanos: papel/papelão, vidro, metais, plástico, orgânicos e diversos (têxteis, couro, madeira e rejeitos sanitários sólidos), com participação gravimétrica demonstrada pela Tabela 5, que traz a composição média do RSU no Brasil.

Tabela 5: Composição gravimétrica do RSU brasileiro. Fonte: EPE (2014)

MATERIAS	PARTICIPAÇÃO (%)
Papel/ Papelão	18,50
Plástico	12,30
Metais	2,10
Vidros	3,10
Orgânicos	59,00
Diversos	5,00
TOTAL	100,00

A massa de cada componente do RSU pode ser calculada através do produto de sua parcela na composição gravimétrica pela produção de RSU diária. Conforme Equação 2 definida para a estimativa dessas massas.

$$M_{RSU_{comp}} = Y * M_{RSU/DIA} \quad (2)$$

Onde, $M_{RSU_{comp}}$ é a massa do componente presente no total de RSU (kg/dia); Y a parcela de material presente na massa total de RSU (%); e $M_{RSU/DIA}$ a quantidade estimada de geração de resíduos de RSU por dia nos cenários definidos (kg/dia).

Para determinação da massa de RSU disponível para incineração, após segregação dos recicláveis, somou-se os valores de $M_{RSU_{comp}}$, estimados pela Equação 2, conforme Equação 3.

$$M_{RSU_{disp}} = M_{RSU_{comp.n}} \quad (3)$$

Sendo $M_{RSU_{disp}}$ a massa de RSU a ser incinerada (kg/dia) e $M_{RSU_{comp.n}}$ a massa total possível de ser incinerada (kg/dia), obtida através de somatório das massas disponíveis de cada componente do RSU a ser utilizado em cada cenário e hipótese definida.

Através dos dados sobre dos valores de PCI dos RSU e composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos, conforme Tabela 2 (p. 36) e Tabela 5 (p.40), respectivamente, foram realizados cálculos a fim de determinar o PCI total dos RSU a serem incinerados. Para tanto, utilizou-se uma adaptação da fórmula proposta por Rezende (2015). Sendo assim, tem-se a Equação 4, disposta a seguir.

$$PCI_t = Y_{N1} * PCI_{N1} + Y_{N2} * PCI_{N2} \dots \quad (4)$$

Sendo, PCI_t o potencial calorífico (kcal/kg) esperado com a incineração dos RSU em cada cenário e hipótese, obtido através de somatório do resultado dos produtos entre a parcela presente de cada componente no RSU e seu respectivo PCI; Y_n a parcela presente de cada material no RSU (%); e PCI_n o poder calorífico inferior de cada material (kcal/kg).

Após determinação do PCI_t, realizou-se análise de viabilidade técnica do processo de incineração dos resíduos, a fim de determinar a necessidade de inserção de combustível auxiliar, definido nesta metodologia como gás natural de petróleo, ou de pré-tratamento que eleve o PCI_t do material, neste trabalho a preparação do CDR. Para tanto, utilizou-se as faixas de PCI definidas pela Tabela 6.

Tabela 6: Viabilidade técnica da incineração do RSU de acordo com o PCI_t. Fonte: EPE (2014)

Faixas de PCI (kcal/kg)	Avaliação
PCI _t < 1675,00	A incineração não é tecnicamente viável, necessitando, obrigatoriamente de combustível auxiliar.
1.675,00 < PCI _t < 2.000,00	A viabilidade da incineração depende de pré-tratamento para elevar o PCI _t .
PCI _t > 2.000,00	A queima bruta do material é tecnicamente viável.

Analisando, algebricamente, o valor de PCI_t encontrado, da M_{RSU/DIA} e um rendimento de produção de energia elétrica de um incinerador da ordem de 30% (LOMBARDI, CARNEVALE & CORTI, 2015), foi possível calcular a quantidade de energia elétrica possível de ser gerada através da incineração do RSU produzido nos dois cenários estudados, conforme Equação 5.

$$E_{Ger} = PCI_t * \eta * M_{RSUdisp} * 0,00116 \quad (5)$$

Onde, E_{Ger} é a quantidade de energia possível de ser gerada pela queima do material (kWh/dia); PCI_t o potencial calorífico esperado com a incineração dos RSU (kcal/kg); η o rendimento de produção determinado, para este estudo, como a constante 0,30; e $M_{RSUdisp}$ a massa de RSU a ser incinerada (kg/dia) em cada cenário e hipótese definidos neste artigo.

Para este estudo, porém, foi considerada a geração ideal de energia elétrica, a partir da utilização dos resíduos sólidos, não sendo descontados, desta forma, os gastos de energéticos com a manutenção da própria planta incineradora.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Relevância do tratamento térmico dentro do modelo de gestão integrada: pontos positivos e negativos da incineração de RSU

Fazendo uso das informações levantadas a respeito do conceito de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos (RSU), foi possível traçar, de forma geral, um panorama de influência do tratamento térmico, a partir de incineração controlada, no gerenciamento de resíduos, bem como seus benefícios para esferas civis e de gestão pública municipal.

A respeito da recuperação de materiais, torna-se possível a maximização dos índices de reciclagem devido ao tratamento preliminar dos resíduos coletados, requerido para incorporação dos mesmos as plantas de incineração para recuperação energética. Somado a isso, a maior parte dos metais contidos nos resíduos, restantes por acidente ou falhas de processo, podem ser recuperados após separação das cinzas residuais do processo de incineração.

Neste contexto, seriam atendidas exigências sociais e ambientais, quanto ao aproveitamento dos RSU, promovendo a inclusão social dos catadores, reduzindo riscos ambientais e enviando apenas rejeitos para destinação final em aterros sanitários.

Quanto às emissões de gases estufa, mesmo produzindo quantidades significativas de dióxido de carbono (CO_2), que podem ser compensadas pela não utilização de combustíveis fósseis e pelos tipos de equipamentos utilizados no processo, as usinas de incineração de resíduos eliminam a geração do metano (CH_4) e do chorume, derivados da decomposição da matéria orgânica destinada sem tratamento prévio em aterros sanitários.

A respeito da formação de dioxinas e furanos, problema ambiental frequentemente associado a processos de incineração de materiais, necessita-se de rígido controle ambiental, visto que tais substâncias, quando emitidas na atmosfera, tem alto potencial de degradação ambiental, podendo perdurar e permanecer no meio ambiente, resistindo à degradação química, fotolítica e biológica. Todavia, com os avanços das tecnologias empregadas nos tratamentos térmicos de resíduos, já é possível, por meio

de controles operacionais e sistemas de tratamento de gases evitar a formação destes compostos ou, caso necessário, destruir as cadeias que possam ser formadas ao longo do processo.

Sobre a utilização de espaço-solo nos municípios, uma usina de tratamento térmico não requer grandes áreas para sua instalação, podendo ser implementada em áreas urbanas e receber manutenções que não exijam seus desmonte ou reconstrução. Desta forma, os custos de destinação final dos resíduos utilizando esta tecnologia tendem a ficar cada vez menos onerosos, devido a economia com o transporte de resíduos para destinação final, já que, após terem alta redução de massa e volume, com índices de redução de 90% do volume e 75% da massa de resíduos (REZENDE, 2015; MORAES, 2015), serão necessárias menos viagens até o aterro sanitário, que normalmente são alocados distantes dos centros urbanos.

Com investimento em tecnologias de reaproveitamento das cinzas produzidas no processo de incineração, por meio, por exemplo, de parcerias com instituições de pesquisa e ensino, pode-se obter uma série de outros fins para esses materiais, como utilização em processos de produção de cimento e concreto (LAM et al., 2010; KARAGIANNIDIS, KONTOGIANNI & LOGOTHETIS, 2013), e processos de descontaminação de águas, substituindo o carvão ativado e reduzindo os custos de processos de descontaminação hídrica e tratamento de gases (LAM et al., 2010; NITSCH, 2014). Além da utilização de cinzas em processos de construção de asfaltos (BOSMANS et al., 2013), vidros, cerâmicas (LAM et al., 2010) e tijolos (MACHADO, 2015; MORAES, 2015; HAVUKAINEN et al., 2017).

Com relação a produção energética, as usinas de tratamento térmico podem gerar energia de acordo com a oferta de combustíveis. Assim, o município pode utilizar o crédito energético gerado para abater o consumo da própria planta e, ainda, de outras demandas municipais. No caso de Consórcios Municipais, esses créditos poderiam ser monetizados e os valores abatidos da cobrança de compensação pela utilização de aterro sanitário, ou para investimentos em educação ambiental e compra de ferramentas para aprimoramento dos processos de reciclagem.

4.2. Alternativa para gerenciamento de RSU com aproveitamento energético

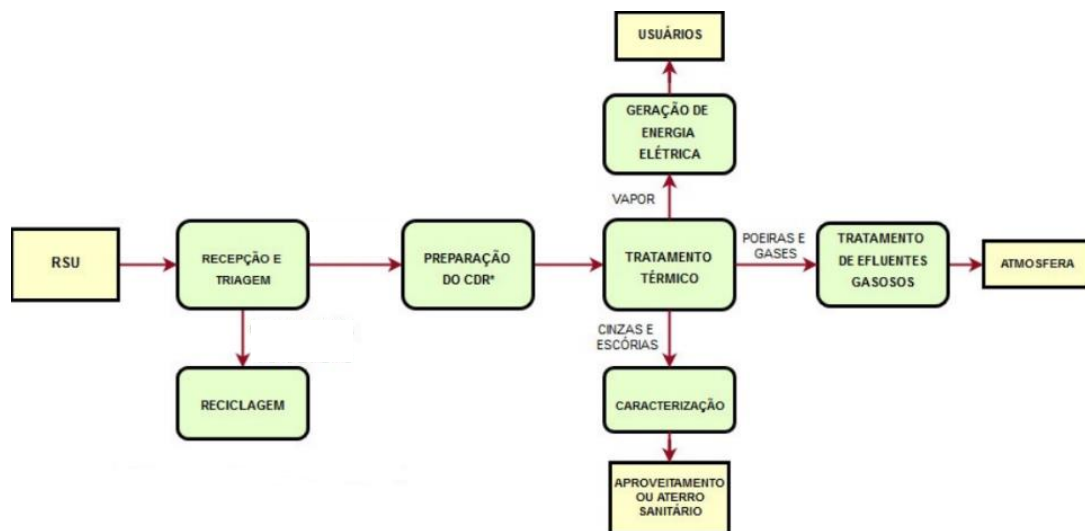
Seguindo o disposto pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), não é indicado, no Brasil, o processamento de RSU bruto em plantas de incineração com objetivo de geração de energia. O processo de aproveitamento energético dos resíduos deveria iniciar-se, então, com o recebimento do RSU e a seleção dos materiais recicláveis, em atendimento da Lei federal 12305/2010 (BRASIL, 2010), que determina prioridades entre os tratamentos de resíduos (HAUSER, 2006; FEAM, 2012).

Neste sentido, a produção de combustível derivado de resíduo (CDR), já descrito neste estudo, se mostra como uma alternativa interessantes à queima imediata dos RSU. Desta forma, o material

recebido seria transformado em um combustível com características que permitiriam seu transporte e armazenamento (ENGEBIO, 2010), favorecendo o cumprimento da PNRS.

Para essa configuração, o material recolhido pela coleta pública receberia tratamento prévio de triagem e segregação dos resíduos. De forma que esses seriam destinados a processos de reciclagem, atendendo o disposto pela PNRS e as políticas de incentivo social aos catadores. O material restante poderia, então, ser submetido ao tratamento térmico com recuperação energética, conforme Figura 3, e seus rejeitos caracterizados, tratados e monitorados conforme legislação aplicável.

Figura 3: Configuração de tratamento térmico de RSU com segregação de recicláveis



4.3. Rendimento energético possível a partir do tratamento térmico de RSU

A partir os dados levantados no diagnóstico da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos nos municípios utilizadores do aterro sanitário de Campos dos Goytacazes/Rj, sob a perspectiva dos consórcios públicos, juntamente com os valores obtidos a partir da aplicação das fórmulas descritas na metodologia deste estudo, tornou-se possível a definição das grandezas necessárias para a determinação do potencial energético presente nos RSU gerados na região estudada.

Considerando o primeiro cenário descrito na metodologia, com formação de consórcio municipal entre os municípios de Campos dos Goytacazes, São João da Barra, São Francisco de Itabapoana, Italva, Itaperuna, Laje do Muriaé e Miracema, tem-se na Tabela 7 os quantitativos de massa diária disponível ($MRSU_{disp}$) para incineração controlada, juntamente com os valores do potencial calorífico inferior total (PCI_t) esperado com o reaproveitamento térmico dos resíduos sólidos gerados.

Os cálculos consideraram duas hipóteses de segregação. Na hipótese A, seriam segregados papel/papelão, plásticos, metais e vidros, sendo esses encaminhados para reciclagem. Já na hipótese B, seriam segregados apenas os resíduos recicláveis inertes, como metais e vidros.

Tabela 7: Quantitativos de MRSUdisp e PCI_t, considerando formação de consórcio municipal

	(A) Considerando tratamento prévio de triagem e segregação total	(B) Considerando tratamento prévio de triagem e segregação de materiais inertes	Diferença (%)
MRSUdisp (kg/dia)	357.716,17	529.867,07	32,5
PCI _t (kcal/kg)	1.072,28	2.584,89	58,5

Para o segundo cenário, considerando o reaproveitamento energético apenas dos RSU gerados em Campos dos Goytacazes, foi possível chegar aos resultados descritos na Tabela 8. Novamente utilizando as hipóteses de segregação A e B, descritas anteriormente.

Tabela 8: Quantitativos de MRSUdisp e PCI_t considerando apenas os RSU gerados em Campos dos Goytacazes.

	(A) Considerando tratamento prévio de triagem e segregação total	(B) Considerando tratamento prévio de triagem e segregação de materiais inertes	Diferença (%)
MRSUdisp (kg/dia)	219.619,50	325.311,30	32,5
PCI _t (kcal/kg)	1.072,28	2.584,89	58,5

Percebe-se que, em ambos os cenários, a retirada do plástico e do papel/papelão da composição do resíduo a ser aproveitado causa diferença no quantitativo de massa disponível para tratamento térmico e importante redução no valor do potencial calorífico inferior total. Isso se dá em função das características próprias desses materiais e, ainda, pela baixa umidade presente, o que eleva o valor de PCI individual e total da massa a ser incinerada.

É importante lembrar, contudo, que a PNRS e as boas práticas de gerenciamento de resíduos sólidos recomendadas pelos órgãos ambientais colocam a reciclagem como etapa anterior ao tratamento térmico de RSU, considerando questões energéticas e socioambientais, especialmente com relação aos catadores de resíduos sólidos e emissão de dioxinas e furanos, que podem ser produzidos a partir de produtos com origem em hidrocarbonetos como, por exemplo, os plásticos (ASSUNÇÃO & PESQUERO, 1999).

Todavia, quando analisa-se o cenário atual de gerenciamento de resíduos sólidos adotados na região estudada, reflexo da política socioambiental adotada no país de forma geral, percebe-se índices de reciclagem muito baixos, com a maioria dos materiais passíveis de reaproveitamento sendo encaminhados para aterros sanitários, quando não para vazadouros a céu aberto, nos municípios com pouca

ou nenhuma estrutura de gerenciamento de RSU. Soma-se a isso, o avanço considerável dos métodos de operação de usinas de tratamento térmico, prevenindo a geração de dioxinas e furanos, e realizando tratamento de efluentes gasosos com eficácia comprovada, atendendo aos padrões de emissão de fontes fixas e de qualidade do ar estabelecidos nacional e internacionalmente.

Neste sentido, na falta de destino mais nobre, considerando a escassez de área para expansão ou criação de novo aterro, o tratamento térmico de materiais para reaproveitamento energético na configuração da hipótese B se mostra uma opção a ser avaliada, visto que tornara-se possível a implementação de metodologias de reaproveitamento dos materiais inertes, como metais e vidros, bem como das cinzas geradas, quando passíveis de reaproveitamento, favorecendo a economia local e o desenvolvimento das cooperativas de reciclagem.

Com os valores de PCI_t , determinados anteriormente, tornou-se possível avaliar a necessidade de utilização de combustível auxiliar no processo de aproveitamento energético, a fim de tornar tecnicamente viável a geração de energia elétrica por meio do reaproveitamento de RSU. Com isso, observou-se que, em ambos os cenários, caso opte-se pela retirada de materiais recicláveis não inertes, como papel/papelão e plásticos, da massa de RSU a ser incinerada, seria obrigatoriamente necessária a inserção de combustível auxiliar no sistema, conforme dados da Tabela 6 (p.42), neste estudo definido como gás natural de petróleo, visando possibilitar a geração de energia elétrica. Com isso, haveria, de certa forma, uma redução no ganho ambiental proveniente dessa alternativa de destinação de resíduos, considerando os impactos ambientais associados a extração e utilização de combustíveis fósseis.

Por outro lado, quando retira-se da massa de RSU disponível para tratamento apenas os resíduos de metais e vidros, torna-se possível a geração de energia elétrica sem obrigatoriedade de utilização de combustível auxiliar, ou ainda, pré tratamento para preparação de CDR. Podendo esse ser adotado, apenas, para facilitar acondicionamento e/ou transporte dos materiais.

Realizou-se, ainda, os cálculos para estimativa da quantidade de energia elétrica diária (E_{Ger}) possível de ser gerada a partir do tratamento térmico dos RSU, considerando os dois cenários propostos e suas respectivas hipóteses de configuração adotadas, conforme Tabela 9 e Tabela 10.

Tabela 9: Quantidade de energia elétrica possível de gerada, considerando formação de consórcio municipal

	(A) Considerando tratamento prévio de triagem e segregação total	(B) Considerando tratamento prévio de triagem e segregação de materiais inertes	Diferença (%)
E_{Ger} (kWh/dia)	133.483,02	476.636,43	72

Tabela 10: Quantidade de energia elétrica possível de ser gerada, considerando apenas os RSU gerados em Campos dos Goytacazes.

	(A) Considerando tratamento prévio de triagem e segregação total	(B) Considerando tratamento prévio de triagem e segregação de materiais inertes	Diferença (%)
E_{Ger} (kWh/dia)	81.951,76	292.630,40	72

Analisando os dados, percebe-se, novamente, que a segregação dos resíduos sólidos recicláveis não inertes reduz consideravelmente a geração de energia elétrica, já que a quantidade de energia produzida com o reaproveitamento dos RSU é diretamente proporcional ao valor de PCI_t dos materiais utilizados.

Levando em consideração o consumo médio anual de 2.273 kWh/hab/ano (EPE, 2020), observando dados do estado do Rio de Janeiro, foi possível determinar o número de pessoas passíveis de abastecimento diário a partir da geração de energia elétrica utilizando RSU como combustível, analisando os dois cenários estipulados e suas respectivas hipóteses de configuração, conforme Tabela 11.

Tabela 11: Quantidade de habitantes passíveis de abastecimento pela energia gerada por meio do reaproveitamento de RSU

	Cenário 1: Consórcio Municipal	Cenário 2: Campos dos Goytacazes
Número de habitantes abastecidos na configuração da hipótese A (hab.)	21.435	13.160
Número de habitantes abastecidos na configuração da hipótese B (hab.)	76.539	46.991

Analisando os dados, percebe-se que na perspectiva mais otimista de abastecimento, apresentada pela hipótese B do primeiro cenário, cerca de 10% da população geradora de RSU, com total de 715.075 habitantes, seria abastecida pela energia gerada com o aproveitamento energético dos materiais. Contudo, quando considera-se os demais aspectos socioambientais influenciados pela gestão, adequada ou não, de resíduos sólidos, é importante ressaltar que a possibilidade ou representatividade da geração de energia elétrica não é o único ponto que deve ser considerado para escolha, ou não, de desenvolvimento de alternativa técnica para compor o gerenciamento integrado de RSU, em caso de saturação do CTR Conselheiro Josino.

Devem ser levados em conta, por exemplo, todos os impactos associados a utilização de aterros sanitários para destinação final de RSU. Dentre os quais, pode-se destacar o comprometimento do espaço-solo para disposição de resíduos, as possíveis contaminações de solo e recursos hídricos, desvalorização de propriedades, além de todas as questões técnicas e econômicas de logística e monitoramento ambiental contínuo, mesmo após desativação, das áreas de destinação final. Tais fatores são agravados, no caso da região estudada, devido a existência aos municípios que destinam os resíduos sólidos gerados em vazadouros a céu aberto e, ainda, pelo baixo investimento em programas de coleta seletiva e reciclagem de materiais, o que leva a perdas ambientais, sociais e econômicas.

Neste sentido, se bem implementado, possuindo todos os controles técnicos e de monitoramento, o reaproveitamento térmico de resíduos sólidos, a partir da incineração controlada, se mostra como uma alternativa interessante a ser considerada para solucionar questões de gerenciamento de RSU na região estudada, em cenário futuro de escassez de áreas para implantação de aterro sanitário, podendo, ainda, de forma paralela, contribuir com o abastecimento de energia elétrica. Para isso, a promoção de um consórcio municipal entre os municípios que hoje utilizam o aterro sanitário localizado em Campos dos Goytacazes para destinação final de seus resíduos sólidos, é um ponto essencial, tanto para distribuição de custos, quanto para planejamentos de ordem socioeconômica, especialmente voltados para educação ambiental, reciclagem de resíduos e aumento de vida útil do CTR Conselheiro Josino. Atendendo, desta forma, o real objetivo do desenvolvimento sustentável e seus pilares econômico, ambiental e social.

5. CONCLUSÃO

O presente artigo buscou apresentar o tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos (RSU), por meio de incineração controlada, como alternativa tecnológica para composição do sistema de gerenciamento integrado dos RSU gerados pelos municípios utilizadores do CTR Conselheiro Josino, em acordo com as diretrizes impostas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em caso de necessidade de construção de novo destino final para os resíduos gerados na região.

A evolução do processo de incineração controlada e da eficiência dos equipamentos de controle de poluição atmosférica, abordadas neste estudo, permitem que o tratamento térmico de RSU com aproveitamento energético seja considerado como alternativa para composição de políticas do setor de saneamento básico, visto a promoção de redução de peso e volume, maximização de índices de reciclagem e possibilidade de aproveitamento energético dos materiais. Contribuindo para a erradicação dos vazadouros a céu aberto, proporcionando o aumento da vida útil de aterros sanitários e permitindo a integração dos catadores de materiais recicláveis ao processo de gestão de RSU.

Quanto ao potencial de aproveitamento energético, os resultados encontrados, avaliando-se os cenários e hipóteses abordados neste estudo, demonstram que a melhor perspectiva de geração seria obtida com o cenário 1 em conjunto com a hipótese de segregação B, onde seria realizado o tratamento térmico conjunto dos RSU gerados por todos os municípios utilizadores do CTR Conselheiro Josino, com tratamento preliminar retirando apenas os resíduos recicláveis inertes da massa a ser incinerada. Configuração que permitiria uma geração de energia elétrica diária de 476.636,43 kWh, suficiente para abastecer cerca de 10% da população total do municípios estudados, o que representa 76.539 habitantes.

Torna-se claro, por tanto, que os impactos ambientais e socioeconômicos causados por gerenciamentos inadequados de RSU evidenciam a importância de uma abordagem integrada da gestão desses serviços. Neste sentido, cabe mencionar a relevância da gestão intermunicipal, validada por meio de Consórcios Públicos Municipais, a fim de permitir o compartilhamento de técnicas e tecnologias que visem a educação ambiental, direcionada a redução de geração de RSU, a promoção de coleta seletiva eficiente e o tratamento e destinação final de materiais conforme hierarquia instituída pela PNRS, rateando custos e investimentos, possibilitando maiores ganhos para todos os envolvidos.

Recomenda-se, para próximas pesquisas, abordagem comparativa entre o tratamento térmico de RSU com aproveitamento energético e outras alternativas de reciclagem de energia e nutrientes, como o aproveitamento, para produção de energia, dos gases produzidos pela decomposição dos RSU em aterros sanitários e a compostagem de resíduos orgânicos para produção de adubo.

Conclui-se, por fim, que ações voltadas a melhoria da gestão ambiental e do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos serão sempre relevantes, seja para implementação imediata ou futura possibilidade. Especialmente quando trata-se de municípios com possibilidade de crescimento populacional e econômico, como é o caso dos abordados neste estudo, sobretudo devido a sua proximidade ao Complexo Portuário do Açu, grande empreendimento logístico localizado em São João da Barra/RJ, em constante expansão de suas atividades.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Norma brasileira **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro; ABNT, 2004. Disponível em: <https://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2021.

ASSUNÇÃO, J. V.; PESQUERO, C. R. Dioxinas e furanos: origens e riscos. **Rev. Saúde Pública**, São Paulo, vol.33, n.5, out. 1999. <https://doi.org/10.1590/S0034-89101999000500014>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89101999000500014. Acesso em: 05 mar. 2021

BERTON, J. **Estudo de caso da cidade de Campo Largo para a valoração e aproveitamento energético de Resíduos Sólidos Urbanos**. 2016. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Engenharia Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: <http://www.acervodigital.ufpr.br/handle/1884/46423>. Acesso em: 05 mar. 2021.

BOSMANS, A.; VANDERREYDT, I.; GEYSEN, D.; HELSEN, L. The crucial role of Waste-to-Energy technologies in enhanced landfill mining: a technology review. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 55, p.10-23, set. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.032>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652612002557>. Acesso em: 05 mar. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n.º 316, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Brasília, DF, **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 20 nov. 2002, Seção 1, páginas 92-95.

_____. Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005. Dispõe Sobre A Classificação dos Corpos de água e Diretrizes Ambientais Para O Seu Enquadramento, Bem Como Estabelece As Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes, e Dá Outras Providências. Brasília, 18 mar. 2005.

_____. Lei n.º 12305, de 02 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**. Brasília, 03 ago. 2010.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Nacional de energia 2030**. MME, 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em 05 mar. 2021.

_____. **Anuário estatístico de energia elétrica 2020**. MME, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/EPEFactSheetAnuario.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2021.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). **Energy from municipal solid waste**. 2017. Disponível em: https://www.eia.gov/energyexplained/?page=biomass_waste_to_energy. Acesso em: 05 mar. 2021.

ENGEBIO ENGENHARIA S/S LTDA. **Estado da arte do tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica**. 2. ed. Porto Alegre: ENGEBIO, 2010.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos: guia de orientação para municípios de Minas Gerais**. Belo Horizonte: s.n., 2012. Disponível em: <http://www.feam.br/component/content/article/995>. Acesso em: 05 mar. 2021.

HAUSER, P. D. **Criação de valor e desenvolvimento sustentável: uma avaliação da incineração de resíduos sólidos municipais em projetos enquadráveis no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto**. 2006. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Administração, UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.

HAVUKAINEN, J.; ZHAN, M.; DONG, J.; LIIKANEN, M.; DEVIATKIN, I.; LI, X.; HORTTANAINEN, M. Environmental impact assessment of municipal solid waste management incorporating mechanical treatment of waste and incineration in Hangzhou, China. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 141, p.453-461, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.146>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616314871>. Acesso em: 05 mar. 2021.

HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica**. 2004. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. Disponível em: <http://antigo.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/rachelh.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM). **Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: s.n., 2001. Disponível em: <http://www.ibam.org.br/estudos?temas=35&busca=Palavra-chave&page=2>. Acesso em: 05 mar. 2021.

ITÔ, L. C. M. **Geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos**. 2014. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica Com ênfase em Sistemas de Energia e Automação, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. Disponível em: <http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-05092014-153703/>. Acesso em: 05 mar. 2021.

KARAGIANNIDIS, A.; KONTOGIANNI, St.; LOGOTHETIS, D. Classification and categorization of treatment methods for ash generated by municipal solid waste incineration: A case for the two greater metropolitan regions of greece. **Waste Management**, [s.l.], v. 33, n. 2, p.363-372, fev. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.10.023>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X12004862>. Acesso em: 05 mar. 2021.

LAM, C.; IP, A.; BARFORD, J. P.; KAY, G. Use of Incineration MSW Ash: A Review. **Sustainability**, Hong Kong, v. 2, n. 7, p.1943-1968, 2 jul. 2010. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2071-1050/2/7/1943>. Acesso em: 05 mar. 2021.

LEITE, C. B. **Tratamento De Resíduos Sólidos Urbanos Com Aproveitamento Energético: Avaliação Econômica Entre As Tecnologias De Digestão Anaeróbia E Incineração**. 2016. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Energia, Instituto de Energia e Ambiente,

Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-28032017-134502/en.php>. Acesso em: 05 mar. 2021.

LOMBARDI, L.; CARNEVALE, E.; CORTI, A. A review of technologies and performances of thermal treatment systems for energy recovery from waste. **Waste Management**, [s.l.], v. 37, p.26-44, mar. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2014.11.010>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X14005273>. Acesso em: 05 mar. 2021.

MACHADO, C. F. **Incineração**: uma análise do tratamento térmico dos resíduos sólidos urbanos de Bauru/Sp. 2015. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro 2015. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013010.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2021.

MAIELLO, A; BRITTO, A. L. N. P.; VALLE, T. F. Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Revista de Administração Pública**, v.52, n.1, p.24-51, fev. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rap/v52n1/1982-3134-rap-52-01-24.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2021

MARANHO, A. S. **Potencial de geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos para Bauru e região**. 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/90827>. Acesso em: 05 mar. 2021.

MORAES, José Laécio De. Dificuldades para o aproveitamento energético de resíduos sólidos através da incineração no Brasil. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 6, n. 3, p. 173 - 180, July 2015. ISSN 2178-0463. Disponível em: <http://www.geosaberes.ufc.br/geosaberes/article/view/466>. Acesso em: 05 mar. 2021.

MORGADO, T. C.; FERREIRA, O. M. Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos, Aproveitamento na Co-geração de Energia. Estudo para a Região Metropolitana de Goiânia. **Universidade Católica de Goiás**. 2006. Disponível em: <http://www.pucgoias.edu.br>. Acesso em: 05 mar. 2021.

NITSCH, J. G. **Estudo de alternativas para reuso, tratamento e destinação final de cinzas de fundo geradas no tratamento de incineração de resíduos sólidos urbanos**. 2014. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. Disponível em: <http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180300/tce-03032015-110239/?&lang=br>. Acesso em: 05 mar. 2021.

PALERMO, G. C.; BRANCO, D. A. C.; FREITAS, M. A. V.. Comparação entre tecnologias de aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos e balanço de emissões de gases de efeito estufa no município do Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 25, n. 4, p. 635-648, ago. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522020192384>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522020000400635&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em 10. Mar. 2021.

PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO. Directiva 2010/75/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 24 de novembro de 2010. **Jornal Oficial Da União Europeia** 334, 17.12.2010, p. 17–119. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0075>. Acesso em: 03 mar. 2021.

QUEZADO, L. H. N. **Avaliação de tecnologias para aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos**. Monografia (Graduação), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010. Disponível em: http://www.eq.ufc.br/TFC/TFC_2010_Quezado.pdf. Acesso em: 05 mar. 2021.

REZENDE, A. B. **Avaliação do potencial energético e econômico do tratamento, destinação e reutilização de resíduos sólidos urbanos (RSU)**. 2015. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Energia, Programa de Pós-graduação em Engenharia da Energia, Universidade Federal de São João del Rei, São João del Rei, 2015. Disponível em: https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/mestradoenergia/Dissertacoes/2011/Dissertacao_Andrea%20Brynnner.pdf. Acesso em: 05 mar. 2021.

SANTOS, D. Valorização energética de resíduos sólidos urbanos: materiais para caldeiras de centrais de incineração. **Ciência e Tecnologia dos Materiais**, Lisboa, v. 25, n. 2, p.98-120, jun. 2013

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Série histórica – Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 05 mar. de 2021.

SOARES, F. R.; MIYAMARU, E. S.; MARTINS, G. Desempenho ambiental da destinação e do tratamento de resíduos sólidos urbanos com reaproveitamento energético por meio da avaliação do ciclo de vida na Central de Tratamento de Resíduos - Caieiras. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 22, n. 5, p. 993-1003, out. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522017155522>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522017000500993&script=sci_arttext. Acesso em 10. Mar. 2021.

TAN, S. T.; HASHIM, H.; LIM, J. S.; HO, W. S.; LEE, C. T.; YAN, J. Energy and emissions benefits of renewable energy derived from municipal solid waste: Analysis of a low carbon scenario in Malaysia. **Applied Energy**, [s.l.], v. 136, p.797-804, dez. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.06.003>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261914005777>. Acesso em: 05 mar. 2021.