

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AUDITORIA AMBIENTAL

ANGÉLICA DIAS MAGALHÃES

**Geração de energia elétrica pela incineração de resíduo
sólido urbano – Viabilidade e seus efeitos sobre a
biodiversidade e sustentabilidade**

SANTOS

2024

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AUDITORIA AMBIENTAL

ANGÉLICA DIAS MAGALHÃES

**Geração de energia elétrica pela incineração de resíduo
sólido urbano – Viabilidade e seus efeitos sobre a
biodiversidade e sustentabilidade**

Dissertação apresentada a Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção de título de Mestre em Auditoria Ambiental, sob a orientação do Prof. Dr. Aldo Ramos Santos.

SANTOS

2024

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família e aos meus amigos que me deram todo apoio neste período.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela dádiva da vida e pela chance de concluir este trabalho. Sou profundamente grata a todos os meus familiares e amigos que estiveram ao meu lado durante todo este período. Mesmo sem tempo para reuniões e encontros, vocês compreenderam minha ausência e me apoiaram em cada momento.

Quero expressar minha imensa gratidão ao meu querido orientador, professor Dr. Aldo Ramos Santos. Com seu vasto conhecimento e dedicação à docência, me guiou e ensinou em cada etapa deste trabalho. Muito obrigada!

Também gostaria de agradecer à Universidade Santa Cecília pelo apoio financeiro, que, através da bolsa concedida, tornou possível a realização deste estudo.

Agradeço o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

Muito obrigada!

EPÍGRAFE

*“TUDO tem o seu tempo determinado, e
há tempo para todo o propósito debaixo do
céu:*

*Há tempo de nascer, tempo de morrer; [...]
Tempo de chorar, tempo de rir”*

(BÍBLIA SAGRADA, Eclesiastes 3. 1, 2, 4).

RESUMO

A geração de resíduos sólidos (RS) tem aumentado de forma significativa em todo o mundo, principalmente devido ao crescimento populacional e ao aumento da demanda por bens de consumo. No Brasil, grande parte desses resíduos não recebe tratamento adequado, favorecendo a proliferação de pragas, a liberação de odores desagradáveis, a emissão de gases poluentes, a intensificação do efeito estufa, a contaminação do solo e da água, e a poluição visual. Como consequência, ocorre um desperdício de energia e do valor dos materiais descartados. Assim, existem duas problemáticas a serem analisadas: o aumento dos resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados e a grande demanda por energia sustentável. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi analisar o aumento e o tipo de RSU gerado na Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS); verificar se a tecnologia de tratamento de RSU por incineração pode ser uma alternativa capaz de atender às demandas da região e às necessidades de manutenção dos biomas locais, assim como analisar os impactos ambientais, sociais e econômicos. A base de análise deste trabalho foi o cenário brasileiro, especificamente a Baixada Santista, pertencente ao estado de São Paulo. Para a realização deste trabalho, utilizou-se o método de pesquisa bibliográfica, que permitiu o levantamento bibliográfico e documental disponível na literatura. Observou-se que o processo de incineração cumpre com os requisitos ambientais e pode ser incorporado a um sistema abrangente de gestão de resíduos sólidos urbanos, incluindo a reciclagem de resíduos e a criação de novos empregos. Vale destacar que Unidades de Recuperação Energética de RSU (URE) receberam da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) a Licença de Instalação (LI) na região Sudeste. Dessa forma, serão necessários novos estudos para gerar subsídios para a tomada de decisão, promovendo discussões para a formulação de políticas públicas voltadas à conservação e à educação ambiental.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos. Sustentabilidade. Meio Ambiente. Unidade de Recuperação Energética. Incineração.

ABSTRACT

Electric Power Generation by Urban Solid Waste Incineration – Feasibility and Its Effects on Biodiversity and Sustainability

The generation of solid waste (SW) has been significantly increasing worldwide, mainly due to population growth and the increased demand for consumer goods. In Brazil, a large part of this waste does not receive adequate treatment, which favors the proliferation of pests, the release of unpleasant odors, the emission of polluting gases, the intensification of the greenhouse effect, soil and water contamination, and visual pollution. Consequently, there is a waste of energy and the value of discarded materials. Thus, two issues need to be analyzed: the increase in urban solid waste (USW) generated and the high demand for sustainable energy. Therefore, the objective of this study was to analyze the increase and type of USW generated in the Metropolitan Region of Baixada Santista (MRBS); to verify whether the USW treatment technology by incineration can be an alternative capable of meeting the region's demands and the needs for maintaining local biomes, as well as to analyze the environmental, social, and economic impacts. The basis of analysis for this study was the Brazilian scenario, specifically Baixada Santista in the state of São Paulo. The method used for this study was bibliographic research, which allowed for the gathering of bibliographic and documentary information available in the literature. It was observed that the incineration process meets environmental requirements and can be incorporated into a comprehensive urban solid waste management system that includes waste recycling and the creation of new jobs. It is worth noting that Urban Solid Waste Energy Recovery Units (ERU) received the Installation License (IL) from the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB) in the Southeast region. Thus, new studies will be necessary to provide subsidies for decision-making, promoting discussions for the formulation of public policies aimed at conservation and environmental education.

Keywords: Urban Solid Waste. Sustainability. Environment. Energy Recovery Unit. Incineration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Rota tecnológica atual na Baixada Santista.	24
Figura 2. Desenho esquemático de um lixão céu aberto.	27
Figura 3. Desenho esquemático de um aterro controlado.	28
Figura 4. Desenho esquemático de um aterro sanitário.	29
Figura 5. Unidade de Recuperação Energética (URE) de Bertioga.	31
Figura 6. Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS).	38
Figura 7. Aterro e transbordo dos municípios da Baixada Santista.	39
Figura 8. Aterro sanitário Sítio das Neves.	40
Figura 9. Aterro sanitário Sítio das Neves.	40
Figura 10. Aterro sanitário Municipal de Peruíbe.	41
Figura 11. Gravimetria dos RSU na Baixada Santista em 2020.	45
Figura 12. Composição dos materiais - Coleta Seletiva da Baixada Santista em 2020.	46
Figura 13. Contribuição dos impactos ambientais para a seleção dos planos de disposição final de RSU em Johor Bahru, Malásia.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição percentual média dos resíduos sólidos urbanos	18
Tabela 2. Tipos de resíduos sólidos urbanos gerados nas cidades da Baixada Santista no ano de 2016 (t/ano).....	20
Tabela 3. Tipos de resíduos sólidos urbanos gerados nas cidades da Baixada Santista no ano de 2016 (%)	21
Tabela 4: Projeção de produção de energia de URE no Brasil.....	32
Tabela 5: Geração de RSU x per capita da RMBS de 2022	44
Tabela 6. Coleta seletiva na Baixada Santista 2016 e 2020.....	47
Tabela 7. Poder calorífico de materiais encontrados em RSU (kcal/kg).	47
Tabela 8. Energia e potência geradas por RSU da Região Metropolitana da Baixada Santista.	48
Tabela 9. Consumo de energia em 2020 – Região Metropolitana da Baixada Santista.	48
Tabela 10. Energia e potência geradas pelos plásticos e papel/papelão – Coleta seletiva Baixada Santista em 2020.....	49
Tabela 11. Resumo das prioridades para ponderação dos impactos ambientais nos planos de disposição.	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Cooperativas dos municípios da Baixada Santista.	34
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC MARBAS	Associação Beneficente dos Catadores de Materiais Recicláveis da Baixada Santista
ABNT	Associação Brasileira das Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ACAMAR	Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Praia Grande
AGEM	Agência Metropolitana da Baixada Santista
CDR	Combustível Derivado de Resíduos
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COMARES	Cooperativa de Materiais Recicláveis Santista
COOPERBEN	Cooperativa de Beneficiamento de Materiais Recicláveis e Educação Ambiental
COOPERLIS	Cooperativa de Trabalho do Litoral Sul
COOPERMAR	Cooperativa de catadores de materiais recicláveis de Mongaguá
COOPERSOL	Cooperativa de Resíduo Sólido e Líquido de Itanhaém e Região
COOPERSUBERT	Cooperativa de Reciclagem de Sucatas União Bertioga
COOPERVIDA	Cooperativa de Coletores e Recicladores de Matérias Orgânicas e Inorgânicas Nova Vida
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ET	Energia total
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
KCAL/KG	Quilocaloria por quilograma
KWH	Quilowatt-hora
KWH/T	Quilowatt-hora Total
LEV	Locais de Entrega Voluntária
LA	Licença Ambiental
LI	Licença de Instalação
MMA	Ministério do Meio Ambiente

MW	Megawatt
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
PCB	Bifenilas Policloradas
PCI	Poder Calorífico Inferior
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PERS	Política Estadual de Resíduos Sólidos
PET	Polietileno Tereftalato
PEV	Ponto de Entrega Voluntária
PLANARES	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PP	Polipropileno
PRGIRS/BS	Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Baixada Santista
PS	Poliestireno
PT	Potência Total
PVC	Policloreto de Vinila
RMBS	Região Metropolitana da Baixada Santista
RSS	Resíduos de Serviços de Saúde
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SIMA	Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
URE	Unidade de Recuperação Energética
UTC	Usina/Unidade de Triagem e Compostagem
WTE	Waste to Energy

EQUAÇÕES E FÓRMULAS

Equação 1. Taxa de cobertura do serviço regular de coleta	44
Equação 2. Cálculo – Energia total	45
Equação 3. Cálculo – Potência total	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 RESÍDUOS SÓLIDOS.....	16
1.1.1 Composição dos Resíduos Sólidos Urbanos	17
1.1.2 Conscientização Da Gestão Dos Resíduos Sólidos	22
1.2 GESTÃO E GERENCIAMENTO INTEGRADO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	22
1.2.1 Coleta e transporte	23
1.2.2 Usinas de triagem e compostagem	25
1.3 FORMAS DE DISPOSIÇÃO ADOTADAS PARA OS RSU	26
1.3.1 Lixão	26
1.3.2 Aterro controlado	27
1.3.3 Aterro sanitário	28
1.4 TECNOLOGIA DE TRATAMENTO DE RSU – ALTERNATIVAS	30
1.4.1 Tratamento biológico	30
1.4.2 Tratamento térmico – Incineração	31
1.4.3 Reciclagem	33
2 APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	35
2.1 IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIOECONÔMICOS.....	36
3 MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO TRABALHO	37
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO TRABALHO	38
4 RESULTADOS	43
4.1 ÁREA DE ESTUDO	43
4.2 COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA E QUANTIDADE PRODUZIDA DE RSU	45
5 DISCUSSÃO.....	51
6 CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

Há uma preocupação global com o aumento na produção de resíduos sólidos e o consumo excessivo, que levam a consequências insustentáveis. À medida que o desenvolvimento econômico e social avança rapidamente, a sociedade adquire novas culturas e hábitos. Para garantir a continuidade desse desenvolvimento, é crucial que a sociedade prospere de maneira sustentável e consciente, adotando novos padrões de comportamento e consumo que reduzam a geração de resíduos sólidos. Nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, existem diretrizes a serem alcançadas até 2030, incluindo a questão dos resíduos, ligada à produção e ao consumo sustentável (RODI’C e WILSON, 2017).

Apesar do compromisso internacional firmado desde 2016, muitas cidades ainda carecem de uma gestão eficiente de resíduos, tendo em vista a complexidade de encontrar soluções para tratamento e destinação adequada para estes resíduos. As ações humanas têm revelado impactos cada vez maiores com a extração e a contaminação dos recursos naturais, refletindo no meio ambiente, na sociedade; na biodiversidade e na sustentabilidade. Neste contexto, os resíduos sejam sólidos, líquidos ou gasosos, são responsáveis pela degradação da biodiversidade (DE SOUSA *et al.*, 2016, SANTOS JÚNIOR e SOUZA, 203).

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2021), foram geradas mais de 82 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos no Brasil em 2020. Deste total, a contribuição per capita foi de 390 kg/ano, com a região Sudeste sendo a maior geradora, com 49,7% dos resíduos sólidos urbanos (RSU), enquanto a região Norte teve a menor participação, com 7,4%. A disposição inadequada de RSU ainda é significativa, incluindo o uso de lixões e aterros controlados. Em todo o Brasil, 40% dos RSUs gerados em 2020 foram destinados a esses locais (ABRELPE, 2021).

A gestão de resíduos envolve uma série de ações que compreendem as etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento, destinação e disposição final de forma ambientalmente adequada. A gestão de resíduos inclui o mapeamento dos processos, análise dos resíduos gerados por cada processo, classificação e quantificação, armazenamento e identificação, e então a destinação (GUTBERLET, 2015). Uma

gestão eficiente também deve garantir o máximo reaproveitamento e reciclagem, além de reduzir a produção dos rejeitos, que são materiais sem viabilidade técnica e econômica para reciclagem (GUTBERLET, 2016).

No Brasil, a gestão de resíduos sólidos é dividida entre o Poder Público, as organizações e a população, onde cada gerador deve ser responsável pelos resíduos que produz, seja em casa ou nas ruas (GHESLA *et al.*, 2018). Além disso, cada tipo de resíduo tem uma destinação específica, conforme sua natureza e características (GUTBERLET, 2016).

A segregação de materiais recicláveis conta com o setor de reciclagem, onde os catadores desempenham um papel ativo, desde a separação até a comercialização dos resíduos recicláveis. Neste contexto, um dos principais desafios é reconhecer e credenciar esses trabalhadores como prestadores de serviços especializados (GUTBERLET, CARENZO e AZEVEDO, 2017).

Assim, o objetivo deste trabalho é analisar o aumento dos RSUs gerados e a demanda por energia sustentável na Baixada Santista através da incineração desses resíduos. Essas questões refletem a constante evolução da sociedade. Como objetivo secundário, pretende-se verificar se a tecnologia de tratamento de RSU por incineração pode ser considerada uma alternativa capaz de atender aos requisitos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) quanto à viabilidade normativa, além de analisar os impactos ambientais gasosos, sociais e econômicos.

1.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

A crescente preocupação com a preservação ambiental tem sido objeto de debates sobre as práticas mais adequadas para minimizar os impactos na biodiversidade e na sustentabilidade, com destaque para a questão da geração de resíduos. Segundo a Norma Brasileira (NBR) 10.004 (2004) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os resíduos sólidos são descritos pela diversidade, complexidade e variabilidade das atividades e setores que os produzem:

... são os resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. (NBR, 2004).

Segundo a Lei Federal nº 12.305/2010, resíduos sólidos são definidos como qualquer material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade. Esses resíduos requerem destinação final, que pode ser atual, proposta ou obrigatória, nos estados sólido ou semissólido, abrangendo gases em recipientes e líquidos com características inviáveis para lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, demandando soluções técnicas ou econômicas viáveis de acordo com a melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

1.1.1 Composição dos Resíduos Sólidos Urbanos

Há grande importância em analisar a composição dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), porém são escassos os estudos gravimétricos realizados nos municípios que compõem a RMBS. Segundo o Plano de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo, a caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos, tanto quantitativa quanto qualitativa, é uma ferramenta crucial para dimensionar o potencial de geração de energia, o impacto ambiental, a possibilidade de reutilização e reciclagem, o grau de degradação da matéria orgânica e a qualidade do composto. Além disso, informa a fração de material biodegradável na massa de RSU (SIMA, 2020).

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos analisada aqui refere-se à categorização dos tipos de materiais descartados pela população. Conhecer esses materiais é fundamental para uma gestão integrada eficiente e adequada, permitindo que os municípios realizem estudos periódicos e tenham subsídios para orientar

ações nas políticas públicas municipais. Isso possibilita o cumprimento ambientalmente correto das diretrizes do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), considerando as melhores alternativas disponíveis e aplicáveis (ABRELPE, 2020).

Para um comparativo de composição percentual média de RSU, a Tabela 1 lista algumas categorias de resíduos gerados no Brasil e na Baixada Santista.

Tabela 1. Composição percentual média dos resíduos sólidos urbanos

CATEGORIA	BRASIL	BAIXADA SANTISTA
Orgânicos	45,3	42,7
Têxteis, couros e borracha	5,6	4,5
Metais (ferrosos e não ferrosos)	2,3	1,0
Madeira	-	0,4
Vidro	2,7	2,7
Plástico	16,8	17,7
Papel e papelão	10,4	7,9
Embalagens multicamadas	1,4	1,4
Rejeitos	14,2	21,0
Outros	1,4	-
Logística reversa*	-	0,7
TOTAL	100	100

Fonte: ABRELPE, 2020 e IPT/AGEM, 2022. Adaptada pela autora

(*) logística reversa: resíduos eletroeletrônicos, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes, pneumáticos, embalagens agroquímicas e óleos lubrificantes.

Para os cálculos da gravimetria de abrangência nacional, a estimativa foi realizada com base na média ponderada a partir da geração total de RSU por faixa de renda dos municípios e suas respectivas gravimetrias, levando-se em consideração a população e geração per capita (ABRELPE, 2020).

Como observado na Tabela 1, os dados extraídos da literatura consultada possuem uma diferença de dois anos e, mesmo assim, são muito próximos em termos de percentual de peso. No entanto, quando observados em valores de pesagem, temos outra perspectiva, pois, neste mesmo período, enquanto na Baixada Santista foram geradas 680.868 t/ano, em todo o Brasil foram geradas 79.069.585 t/ano.

Os dados apresentados na Tabela 2 e na Tabela 3 foram extraídos do Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Baixada Santista (PRGIRS/BS, 2018). Embora sejam os dados mais atualizados, houve a necessidade de consultar

também os Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) de todos os nove municípios que fazem parte da Região Metropolitana da Baixada Santista.

Os dados percentuais fornecem valores proporcionais dos tipos de materiais mais produzidos na região. O município de Santos lidera como o município que gera mais RSU na região, seguido pelos municípios de Guarujá, Praia Grande, São Vicente e Cubatão. Os municípios de Mongaguá, Peruíbe, Bertioga e Itanhaém são apresentados com percentuais abaixo de 5% de todos os RSU registrados.

Tabela 2. Tipos de resíduos sólidos urbanos gerados nas cidades da Baixada Santista no ano de 2016 (t/ano)

Tipo de material	Bertioga	Cubatão	Guarujá	Itanhaém	Mongaguá	Peruíbe	Praia Grande	Santos	São Vicente	Baixada Santista
PET – incolor	527	629	1.762	404	253	522	1.199	1.767	977	8.039
PET – colorido	146	271	422	231	115	223	362	577	167	2.515
PET – outros	0	102	626	0	0	0	0,0	1.299	84	2.111
PEAD	410	889	1.718	1.002	631	1.253	4.842	8.008	1.014	19.768
PVC	6	46	1.267	197	77	73	485	0,0	195	2.346
PEBD	1.024	542	3.887	1.047	402	336	1.513	2.543	2.819	14.113
PP	59	634	1.630	167	122	218	1.047	1.930	1.172	6.977
PS	205	506	859	177	168	151	913	3.427	865	7.271
Outros plásticos	0,0	419	815	112	65	99	400	1.208	1.033	4.151
Plástico filme	3.014	4.176	13.248	2.790	1.988	1.772	7.801	27.901	8.831	71.520
Longa vida	439	557	1.441	554	339	415	1.760	2.327	1.266	9.097
Papelão	1.931	2.326	9.361	1.614	482	740	1.598	5.357	5.425	28.833
Papel	819	1.416	6.900	1.488	837	3.364	3.434	24.294	2.829	45.383
Alumínio	293	102	306	234	96	157	447	1.028	84	2.746
Metais não ferrosos	225	112	335	44	0,0	0,0	323	415	298	1.753
Metais ferrosos	380	920	1.616	438	192	160	1.494	2.579	986	8.765
Madeira	6	296	2.606	197	295	38	162	2.976	9	6.585
Vidro – incolor	410	649	1.427	418	227	325	685	18	102	4.261
Vidro – colorido	1.170	332	4.018	466	232	661	3.625	1.858	251	12.613
Vidro – outros	0,0	307	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	307
Borracha	117	158	524	133	419	81	219	4.148	205	6.004
Têxteis	1.990	2.745	9.827	3.718	1.621	597	5.223	3.138	3.983	32.841
Logística Reversa*	9	51	393	24	14	58	67	343	56	1.014
Rejeito**	2.780	7.192	17.979	9.063	6.335	5.801	23.917	21.228	13.911	108.206
Orgânicos	13.313	25.731	62.512	9.457	8.477	11.964	33.640	64.982	46.461	276.537
TOTAL	29.260	51.114	145.579	33.983	23.386	29.003	95.137	180.354	93.052	680.868

Fonte: PRGIRS/BS, 2018. Adaptada pela autora

(*) logística reversa: resíduos eletroeletrônicos, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes, pneumáticos, embalagens agroquímicas e óleos lubrificantes.

(**) rejeito: resíduos contaminados biologicamente (papéis sanitários, absorventes, cotonetes, algodão, entre outros)

Tabela 3. Tipos de resíduos sólidos urbanos gerados nas cidades da Baixada Santista no ano de 2016 (%)

Tipo de material	Bertioga %	Cubatão %	Guarujá %	Itanhaém %	Mongaguá %	Peruíbe %	Praia Grande %	Santos %	São Vicente %	Baixada Santista %
Plásticos	3,88	5,92	18,90	4,41	2,75	3,35	13,37	35,05	12,36	20,39
Longa vida	4,83	6,12	15,84	6,09	3,73	4,56	19,35	25,58	13,92	1,34
Papel	3,71	5,05	21,91	4,18	1,78	5,53	6,78	39,95	11,12	10,90
Metais	6,77	8,55	17,02	5,40	2,17	2,39	17,07	30,32	10,31	1,95
Madeira	0,09	4,5	39,57	2,99	4,48	0,58	2,46	45,19	0,14	0,97
Vidro	9,20	7,50	31,69	5,15	2,67	5,74	25,09	10,92	2,05	2,52
Borracha	1,95	2,63	8,73	2,22	6,98	1,35	3,65	69,09	3,41	0,88
Têxteis	6,06	8,36	29,92	11,32	4,94	1,82	15,90	9,56	12,13	4,82
Logística Reversa*	0,89	5,03	38,76	2,37	1,38	5,72	6,61	33,83	5,52	0,15
Rejeito**	2,57	6,65	16,62	8,38	5,85	5,36	22,10	19,62	12,86	15,91
Orgânicos	4,81	9,30	22,62	3,42	3,07	4,33	12,16	23,50	16,80	40,62
TOTAL	4,30	7,51	21,38	4,99	3,43	4,26	13,97	26,49	13,67	100

Fonte: PRGIRS/BS, 2018. Adaptada pela autora

(*) logística reversa: resíduos eletroeletrônicos, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes, pneumáticos, embalagens agroquímicas e óleos lubrificantes.

(**) rejeito: resíduos contaminados biologicamente (papéis sanitários, absorventes, cotonetes, algodão, entre outros).

1.1.2 Conscientização Da Gestão Dos Resíduos Sólidos

Há um compromisso de responsabilidade sobre a gestão de resíduos sólidos citado tanto na esfera federal pela Lei nº 12.305/2010, que institui a PNRS, quanto na esfera estadual pela Lei nº 12.300/2006, que institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS). Ambas as leis preveem a gestão de resíduos sólidos, bem como a redução ou eliminação de resíduos na fonte geradora. Ainda na Lei nº 12.305/2010, está prevista a elaboração do PMGIRS por todos os municípios brasileiros, para que possam conduzir de forma objetiva os empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Contudo, dos 5.570 municípios brasileiros, apenas 52,4% entregaram o PMGIRS. Segundo Spinola *et al.* (2019), houve falta de comprometimento por parte dos órgãos municipais no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, considerando o aumento da população e as mudanças nos hábitos de consumo.

De acordo com os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em 2020, os 4.589 municípios brasileiros participantes do programa registraram um total de 66,6 milhões de toneladas de resíduos sólidos domiciliares e resíduos sólidos públicos coletados. Destes, 65,3 milhões de toneladas, 11,6% foram destinados a aterro controlado, 14,6% a lixões e 73,8% a aterro sanitário (BRASIL, 2021). A ABRELPE sinaliza em seu panorama publicado em 2020 um aumento expressivo de 16% na quantidade de resíduos que segue para unidades inadequadas (ABRELPE, 2020).

1.2 GESTÃO E GERENCIAMENTO INTEGRADO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Para que possamos compreender de forma simples e prática a diferença entre gestão e gerenciamento, podemos colocar da seguinte forma: a gestão define a política e o gerenciamento implementa a política. O gerenciamento de resíduos sólidos agrega as ações exercidas nas etapas de coleta, transporte, transbordo,

tratamento, bem como a destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e rejeitos (MORALES *et al.*, 2020).

1.2.1 Coleta e transporte

Segundo Reichert (2013), a coleta dos resíduos urbanos representa o ponto inicial mais crucial no sistema integrado de gerenciamento de resíduos urbanos, pois a maneira como são coletados e segregados determina as opções de tratamento possíveis. A coleta pode ser classificada em dois tipos: a convencional ou indiferenciada, na qual não há segregação prévia dos resíduos disponibilizados para coleta, resultando em perdas significativas na recuperação de materiais; e a coleta seletiva, que envolve a separação na fonte, garantindo que resíduos secos não se misturem com os úmidos, no caso, orgânicos e rejeitos (MARTINS *et al.*, 2021).

De acordo com BRASIL (2021), dos 4.589 municípios participantes do SNIS-RS de 2020, a cobertura de coleta regular direta e indireta de resíduos domiciliares foi de 98,7% da população urbana (Indicador IN016). Os percentuais quanto às macrorregiões geográficas variaram de 96,2% a 99,4%, sendo 96,2% na Região Norte, 97,7% no Nordeste, 98,2% no Centro-Oeste, 99,3% na Região Sul e 99,4% na Região Sudeste.

O gerenciamento de resíduos ocorre de acordo com o esquema da rota tecnológica do RSU, conforme demonstrado na Figura 1, onde os resíduos são coletados pelas empresas prestadoras de serviços de forma seletiva e/ou regular. Os resíduos coletados de forma seletiva passam por triagem. O processo da rota tecnológica termina com a disposição final dos rejeitos, quando o material não possui nenhuma capacidade de reaproveitamento, estes devem ser descartados em aterros sanitários, espaços ambientalmente adequados para receber tais materiais (PRGIRS/BS, 2018).

Na Figura 1 segue o fluxograma da rota tecnológica do atual cenário de gestão de resíduos sólidos da Baixada Santista. Do total recolhido (coleta regular e seletiva), mais de 98% são de resíduos que são destinados aos aterros sanitários.

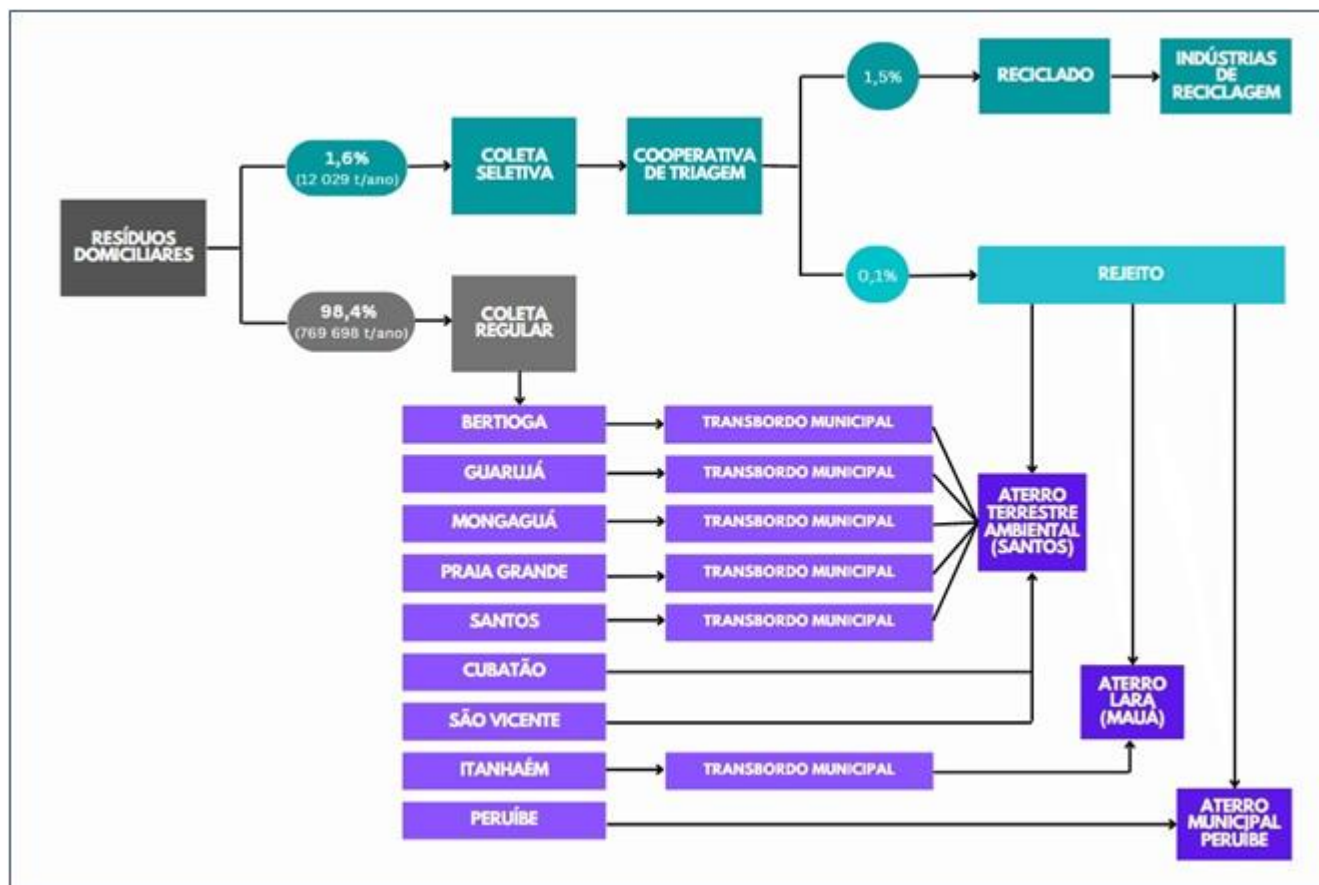


Figura 1. Rota tecnológica atual na Baixada Santista.
Fonte: Adaptado de PRGIRS/BS (2018)

1.2.2 Usinas de triagem e compostagem

As Usinas de Triagem são locais usados para a separação de resíduos sólidos descartados, proveniente da coleta e/ou transporte usual. Estes são submetidos a um processo de triagem/separação sistemática, onde os resíduos inorgânicos são separados e encaminhados à atividade de reciclagem, já os orgânicos são direcionados ao processo de compostagem. A usina de triagem sem a compostagem, se torna um processo incompleto do ponto de vista ambiental (RANIERO e MINCATO, 2020).

As usinas de triagem e compostagem (UTC) são instalações dedicadas à separação de materiais recicláveis secos, que podem ser coletados tanto por meio de coleta seletiva quanto por outros métodos. Nessas usinas, os materiais são classificados manualmente e/ou por meio de equipamentos automatizados, permitindo a segregação por tipo. Os materiais que podem ser aproveitados são então encaminhados para processos de recuperação, como reutilização ou reciclagem (BRASIL, 2021)

Segundo a associação Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, 2018), usinas de triagem gerenciadas adequadamente podem ser uma ferramenta significativa para a redução da quantidade de resíduos enviados a aterros, alcançando taxas de redução de até 50%. No entanto, conforme o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES, 2022), embora as usinas de triagem mecanizadas se mostrem como uma opção viável para processar volumes crescentes de resíduos secos recuperados, a compostagem pode ser comprometida. Isso ocorre porque os materiais separados da fração orgânica e potencialmente recicláveis podem ser contaminados por outros componentes do lixo, o que afeta a qualidade dos recicláveis, como exemplo o papel, ocorrendo a contaminação pode impedir o processo de reciclagem (CEMPRE, 2018).

A fase de seleção (triagem) é o processo de separação dos diversos tipos de resíduos recicláveis de maneira manual ou automatizada. Este processo é visto como parte da gestão de resíduos que possui maior potencial de valorização para os materiais recicláveis, agregado valor ao produto no mercado de reciclagem. A triagem ocorre, geralmente, dentro das cooperativas de catadores de materiais recicláveis,

neste é utilizado esteiras de seleção e contando com a mão de obra dos catadores. A seleção é feita de acordo com as demandas do mercado de reciclagem, facilitando a comercialização (CEMPRE, 2018).

1.3 FORMAS DE DISPOSIÇÃO ADOTADAS PARA OS RSU

Independentemente das diferentes modalidades de tratamento, no Brasil, os resíduos sólidos urbanos (RSU) são dispostos de três principais formas: lixões a céu aberto, aterros controlados e aterros sanitários. Na Baixada Santista, essas mesmas formas de disposição são utilizadas. No entanto, cooperativas parceiras desempenham um papel importante no processo de triagem de materiais recicláveis, contribuindo significativamente para a disposição final ambientalmente correta desses resíduos (PRGIRS/BS, 2018).

1.3.1 Lixão

Conhecidos como lixões ou vazadouros, esses locais são utilizados para o descarte de resíduos a céu aberto, sem controle sobre a quantidade ou a qualidade dos resíduos descartados. Essa falta de controle causa impactos ambientais significativos, como a contaminação dos solos, do ar e das águas superficiais e subterrâneas, além do lançamento descontrolado de lixiviados e gases (SOUSA *et al.*, 2020; LEITE *et al.*, 2019).

A ausência de controle nos lixões a céu aberto, conforme ilustrado na Figura 2 - Desenho Esquemático, favorece a proliferação de insetos, como moscas domésticas, mosquitos, baratas e roedores, além de outros pequenos animais. Esses organismos podem se tornar vetores de agentes patogênicos (CEMPRE, 2018).

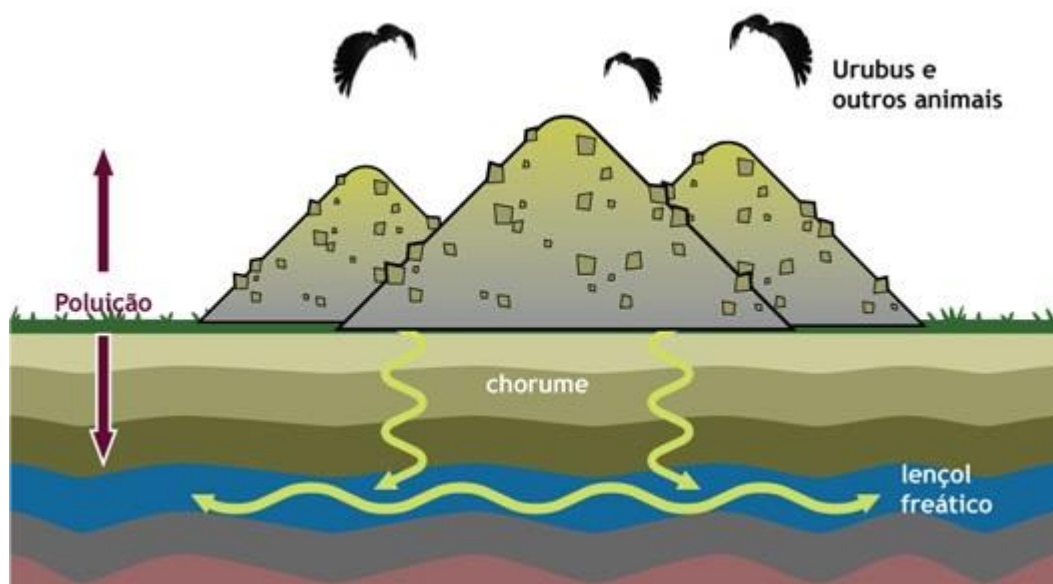


Figura 2. Desenho esquemático de um lixão céu aberto.
Fonte: Trilho Ambiental, 2019.

1.3.2 Aterro controlado

Os aterros controlados são locais restritos onde os resíduos são confinados diariamente e cobertos por uma camada de material inerte, o que evita a exposição ao céu aberto (MORAIS *et al.*, 2019). No entanto, segundo Freire (2009), a expressão “aterro controlado” é considerada incorreta, pois pode dar a impressão de que os resíduos são submetidos a algum tipo de tratamento ou controle, o que, na prática, não ocorre. Portanto, a expressão mais adequada seria “lixão controlado”.

Na Figura 3, o desenho esquemático de um aterro controlado ilustra o processo de contaminação do lençol freático devido à falta de tratamento do chorume gerado pelos resíduos depositados.

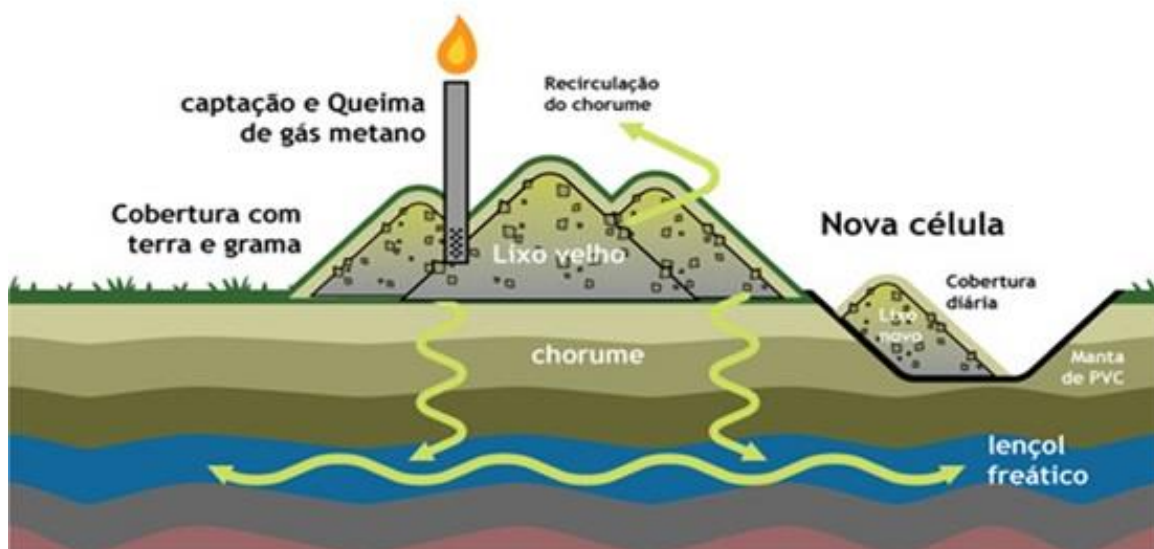


Figura 3. Desenho esquemático de um aterro controlado.
Fonte: Trilho Ambiental, 2019.

1.3.3 Aterro sanitário

O aterro sanitário, segundo NBR 8419 (ABNT, 1992), é definido como:

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário. (ABNT, 1992)

De acordo com a CEMPRE (2018), o aterro sanitário é considerado o método mais adequado para a disposição de todos os tipos de resíduos, incluindo os provenientes de serviços de saúde, desde que seja devidamente controlado e monitorado.

Conforme o Brasil (2021), os aterros sanitários são utilizados para a disposição final de materiais considerados não recuperáveis (rejeitos) após os processos de triagem e compostagem. Na Figura 4, o desenho esquemático de um aterro sanitário ilustra a captação e a queima do gás metano, um processo também descrito na Figura 3. O metano é um dos principais gases de efeito estufa, portanto, em um aterro sanitário convencional, é capturado e direcionado para um flare, onde é queimado e

convertido em dióxido de carbono, um gás que contribui menos para o aquecimento global (TEIXEIRA, 2004 e LUIZ, 2022).



Figura 4. Desenho esquemático de um aterro sanitário.
Fonte: Trilho Ambiental, 2019.

De acordo com Colvero *et al.* (2017), o aterro sanitário é uma alternativa técnica e infraestrutura adequada para a disposição final dos RSU gerados pela população, reduzindo os impactos ambientais associados ao descarte inadequado.

Helena Flamini (2021) ressalta a importância do monitoramento contínuo dessa alternativa de tratamento. Ela observa que, apesar de o aterro sanitário ser tecnicamente adequado, a falta de investimento em tecnologia e infraestrutura pode levar a problemas semelhantes aos encontrados em aterros controlados, como a geração de chorume e a captação e liberação de biogás (metano), o que pode comprometer a biodiversidade e a sustentabilidade do bioma.

Na Região Metropolitana da Baixada Santista, as prefeituras são responsáveis tanto pela gestão da coleta de RSU quanto pela contratação das empresas responsáveis por essa coleta. A maioria dos municípios destina os RSU para o aterro da empresa localizado em Santos. No entanto, dos nove municípios da RMBS, dois utilizam de outros aterros para o descarte de seus RSU.

1.4 TECNOLOGIA DE TRATAMENTO DE RSU – ALTERNATIVAS

Diversas tecnologias estão disponíveis para o tratamento de RSU ao redor do mundo. No entanto, no Brasil, a destinação final em aterros sanitários ainda é a prática mais comum, com a utilização de aterros controlados e lixões também sendo considerados. Os principais tipos de tecnologia para o tratamento de RSU incluem triagem, tratamento de resíduos biológicos, incineração e aterro sanitário. A escolha adequada do método de tratamento pode proporcionar benefícios ambientais e econômicos, embora não exista um tratamento universalmente mais eficiente. A viabilidade técnica, econômica e socioambiental da região de aplicação deve ser avaliada para determinar a tecnologia mais apropriada a ser implementada (BAPTISTA *et al.*, 2019).

1.4.1 Tratamento biológico

O tratamento biológico, segundo Guinan *et al.* (2008) consiste em processo de decomposição, o qual transforma a matéria orgânica em material estável. Esse processo pode ocorrer tanto em condições aeróbias, quanto em condições anaeróbias.

No processo de compostagem, o resultado é o composto orgânico, que é ideal para uso como fertilizante natural em atividades agrícolas. Por outro lado, a biodigestão gera biogás, que pode ser aproveitado para produção de calor, energia ou como combustível veicular na forma de biometano. É essencial que, para utilizar esses métodos de tratamento de resíduos sólidos urbanos, haja uma triagem rigorosa da fração orgânica para remover componentes tóxicos ou perigosos (GEHM, 2019).

No Brasil, ainda são poucas as iniciativas de digestão anaeróbia. No entanto, o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB, 2019) destaca o município de Bertioga, que, em 2018, inaugurou a primeira planta de digestão anaeróbia em contêineres do país, com capacidade para tratar 120 toneladas de resíduos por mês. A Figura 5 ilustra os contêineres de metanização em operação.



Figura 5. Unidade de Recuperação Energética (URE) de Bertiooga.
Fonte: BRASIL, 2019.

1.4.2 Tratamento térmico – Incineração

O processo de incineração de resíduos sólidos urbanos (RSU) envolve o tratamento térmico desses resíduos a altas temperaturas, em torno de 700°C, em um ambiente controlado. Durante a incineração, os resíduos passam por três fases de decomposição: sólida inerte, gasosa e líquida. Na fase sólida inerte, os resíduos transformam-se em cinzas e escórias, que, após a comprovação de sua inatividade, são dispostos em aterros sanitários. Já os gases e efluentes gerados devem ser tratados antes de sua emissão para a atmosfera (JUCÁ, 2014).

Esse processo reduz aproximadamente 92% do volume de resíduos, minimizando a quantidade destinada aos aterros sanitários. Além disso, a incineração possui propriedades energéticas que permitem a conversão da energia térmica em energia elétrica, contribuindo para a geração de eletricidade (EPE, 2014). Segundo o Brasil (2020), a geração de energia elétrica pela incineração dos RSU pode variar entre 350 e 600 kWh/t, dependendo do poder calorífico do material incinerado.

Atualmente, no Brasil, existem incineradores dedicados a resíduos industriais, de serviços de saúde (RSS) e de equipamentos contendo Bifenilas Policloradas (PCB). No entanto, ainda não há unidades em operação específicas para RSU (PLANARES, 2022). Porém, está em fase de implantação uma Unidade de Recuperação Energética (URE) para tratamento térmico de RSU e de combustível

derivado de resíduos (CDR) no município de Barueri/SP. Esta unidade terá capacidade para tratar 825 toneladas por dia e uma potência instalada de 20 MW (PLANARES, 2022). A previsão para o início de operação da URE de Barueri é em 2025.

Além disso, outras duas plantas de URE receberam Licença Ambiental (LA): uma localizada em Mauá, São Paulo, e outra no bairro Caju, Rio de Janeiro. Essas novas plantas estão projetadas com maior capacidade de tratamento de resíduos. A Tabela 4 apresenta uma projeção da capacidade de produção de energia em MW das UREs no Brasil, conforme a análise realizada pelo PLANARES (2022).

Recentemente, uma nova URE recebeu a Licença de Instalação (LI) da CETESB – Valoriza Santos. Esta URE será construída na cidade de Santos e atenderá a demanda de sete cidades da Baixada Santista, com capacidade para receber e tratar os resíduos urbanos provenientes da coleta regular (CETESB, 2024).

Tabela 4: Projeção de produção de energia de URE no Brasil.

URE (planta)	Localização	Projeção de capacidade de tratamento (toneladas/dia)	Potência em MW
Barueri	São Paulo	825	20 MW
Mauá	São Paulo	4 000	80 MW
Santos	São Paulo	1 500	50 MW
Caju	Rio de Janeiro	1 200	30 MW

Fonte: Planares, 2022 e CETESB 2024. Elaborado pela autora

1.4.3 Reciclagem

Segundo Rodrigues *et al.* (2019), definem reciclagem como “[...] processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos [...]”.

Os resíduos sólidos urbanos são constituídos por uma diversidade de materiais provenientes das atividades de produção e consumo da população. Uma parcela significativa desses resíduos pode ser reciclada, gerando benefícios sociais como a criação de empregos e renda, além de estimular a conscientização sobre a preservação ambiental e valorizar a limpeza pública (BERTICELLI, 2020).

Segundo Ribeiro e Besen (2006), as cooperativas e associações de catadores oferecem diversos benefícios, como a geração de trabalho e renda, o reconhecimento da profissão dos catadores, a organização do trabalho nas ruas e a promoção da autoestima e cidadania. O apoio a essas organizações representa uma oportunidade para o poder público promover a inclusão social de pessoas em situação de rua, desempregadas ou catadores em lixões.

Na Região Metropolitana da Baixada Santista, todos os nove municípios têm iniciativas de coleta seletiva, como pode ser observado no Quadro 1. Este quadro apresenta dados sobre a coleta seletiva, incluindo contratos com a Prefeitura, tipos de sistemas de coleta e o número de pessoas envolvidas no processo de coleta e triagem.

Quadro 1. Cooperativas dos municípios da Baixada Santista.

Município	Entidade	Contrato Prefeitura	Tipo de sistema de coleta	Ao lado de transbordo?	Nº de caminhões	Qtd de cooperados
Bertioga	Coopersubert - Coop. de Reciclagem de Sucatas União Bertioga	Sim	Coleta porta a porta; Coleta em LEVs	Sim	3	30
Cubatão	Associação Beneficente dos Catadores de Materiais Recicláveis da Baixada Santista (ABC Marbas)	Sim	Coleta porta a porta; Coleta em LEVs	Não	2	48
Guarujá	Cooperativa de Beneficiamento de Materiais Recicláveis e Educação Ambiental (COOPERBEN)	Não	Coleta porta a porta em 2 bairros; Coleta em LEVs	Não	2	22
	Cooperativa Mundo Novo	Sim	Coleta porta a porta; Coleta em LEVs	Não	2	12
	Cooperativa de Trabalho dos Catadores de Materiais Recicláveis de Guarujá (Recicla Mais)	Sim	Coleta porta a porta; Coleta em LEVs	Não	1	7
Itanhaém	Coopersol Reciclando - Cooperativa de Resíduo Sólido e Líquido de Itanhaém e Região	Não	Coleta porta a porta; Coleta em PEVs	Não	2	16
	Cooperativa de Trabalho do Litoral Sul - Cooperlis	Não	Atua dentro da Usina Brasil – transbordo municipal	Dentro do transbordo	-	26
Mongaguá	Coopermar - Cooperativa de catadores de materiais recicláveis de Mongaguá	Não	Mediante solicitação e porta a porta em bairros piloto	Não	3	30
Peruíbe	Associação de Coletores de Produtos Recicláveis Graça Vermelha	Não	Recebem da Sabesp	Não	-	1
	Cooperativa amantes da natureza	Não	Coleta porta a porta	Não	1	8
Praia Grande	Coopervida - Cooperativa de Coletores e Recicladores de Matérias Orgânicas e Inorgânicas Nova Vida	Não	Coleta porta a porta	Sim	6	56
	ACAMAR – Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Praia Grande	Não	Coleta porta a porta	Não	6	58
Santos	Cooperativa de Materiais Recicláveis Santista - COMARES	Sim	Recebe materiais coletados pela PRODESAN	Não	5	82
	ONG Sem Fronteiras	Não	Mediante solicitação	Não	Não informado	72
São Vicente	Cooperativa de Trabalho de Catadores de Materiais Recicláveis em Benefício a Natureza/ Coopernatureza	Sim	Coleta porta a porta	Não	5	67

Fonte: PRGIRS/BS, 2018; Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos [(1) PMB, 2016; (2) PMC, 2012; (3) PMPG; (4) PMI, 2014; (5) PMM, 2013 2014; (6) PMGM 2012; (7) PMSV, 2015; (8) PMS, 2012]; Implementação de ações do PRGIRS/BS, 2024. Adaptado pela autora.

Os dados do Quadro 1 foram obtidos no Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Baixada Santista, bem como nos Planos de Implementação e Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de cada município da região. Das quinze cooperativas mencionadas, apenas seis possuem contratos com as Prefeituras, mas todas estão registradas para atuar em seus respectivos municípios.

A segregação dos materiais recicláveis é estratégica na gestão integrada dos resíduos sólidos, pois estimula o hábito da separação para aproveitamento, promove a educação ambiental voltada para a redução do consumo e desperdício, gera trabalho e renda e, possibilita o reaproveitamento da matéria orgânica para tratamentos (RIBEIRO e BESEN, 2006).

2 APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Com o aumento populacional, a demanda por energia elétrica também cresceu, incentivando vários países a buscarem diferentes soluções tecnológicas para a geração de energia. O setor energético tem ganhado destaque com a inclusão de energias renováveis na matriz energética mundial (MENDONÇA e BORNIA, 2019).

O aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos (RSU) tem se tornado uma opção cada vez mais atrativa globalmente. O termo "*Waste to Energy*" (WtE) refere-se ao processo pelo qual a energia química contida nos resíduos é convertida em eletricidade, calor e/ou combustível para uso descentralizado em uma planta de aproveitamento energético (TISI, YURI SCHMITKE 2019). Diferentemente das usinas hidrelétricas e termoeletricas, cuja principal função é a geração de energia, as Unidades de Recuperação Energética (URE) de RSU têm como função primária o saneamento básico, gerando energia como um subproduto. Isso torna as UREs uma fonte interessante de energia térmica e/ou elétrica (ABRELPE e PLASTIVIDA, 2012).

Inicialmente, houve resistência da sociedade em relação à aplicabilidade das UREs, devido à ausência de mecanismos de monitoramento e controle de emissões nos antigos incineradores, que eram usados apenas para reduzir o volume de resíduos nos centros urbanos (SILVA SOBRINHO, 2021). No entanto, com o desenvolvimento da tecnologia, a percepção tornou-se mais positiva, considerando

tanto a dimensão ambiental quanto a geração de energia. A tecnologia WtE é agora reconhecida publicamente como uma fonte de energia com menor impacto ambiental em comparação com a maioria das outras fontes de eletricidade (TISI, YURI SCHMITKE 2019).

2.1 IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIOECONÔMICOS

As áreas destinadas à disposição de resíduos sólidos geram efluentes líquidos e gasosos, exigindo monitoramento contínuo, com impactos que podem perdurar por três vezes o tempo de permanência dos resíduos no aterro (EPE, 2018). O principal problema causado por essa disposição é a poluição ambiental no local de destinação final. Os impactos ambientais dos aterros sanitários são categorizados em três áreas principais: construção dos aterros, gases liberados durante a degradação e o chorume gerado.

De acordo com Danthurebandara et al. (2012), os impactos começam ainda na fase de construção dos aterros, que podem causar alterações na ecologia local, perda de habitats e deslocamento da fauna. Durante o funcionamento, os aterros continuam a gerar danos ambientais, especialmente pela liberação de gases poluentes, como metano e dióxido de carbono, que contribuem para o aquecimento global (EPA, 2017).

Os gases liberados, incluindo metano e compostos orgânicos não metânicos (NMOC), afetam negativamente o ecossistema, deslocando o oxigênio do solo e impactando a vegetação e a fauna local (DANTHUREBANDARA et al., 2012). Além disso, o chorume formado pode contaminar as águas subterrâneas e superficiais, causando problemas ambientais a longo prazo, incluindo a inserção de metais na cadeia alimentar (PMetGIRS, 2023; DANTHUREBANDARA et al., 2012).

A incineração, outro método de disposição de resíduos, também apresenta riscos ambientais e à saúde, como a liberação de dioxinas e metais pesados, que podem contaminar o solo, a água e a cadeia alimentar. Embora tenha sido criticada por seus altos níveis de poluição nas décadas de 1980 e 1990, a incineração passou a ser considerada uma alternativa mais viável devido a avanços nas tecnologias de controle de emissões (SANTOS ELIO et al., 2020).

Já a reciclagem segue uma hierarquia de resíduos que prioriza a prevenção, a reutilização e a reciclagem, sendo a eliminação a última opção (Hultman e Corvellec, 2012). Esse modelo contribui para a redução dos impactos ambientais ao limitar o uso de recursos naturais e evitar o acúmulo de resíduos em aterros. Nesse processo, os catadores de materiais recicláveis desempenham um papel fundamental, ajudando a reintegrar materiais ao ciclo produtivo e reduzindo a necessidade de novas extrações de recursos (GOUVEIA, 2012; GUTBERLET, 2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO TRABALHO

O presente trabalho teve como cenário de estudo o Estado de São Paulo, tendo como ponto focal a Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS), instituída por meio da Lei Estadual nº 815, de 30 de julho de 1996.

A Figura 6 ilustra a localização geográfica da RMBS, que abrange os municípios de Bertioga, Cubatão, Guarujá, Itanhaém, Mongaguá, Peruíbe, Praia Grande, Santos e São Vicente (São Paulo, 1996; PMS, 2021; SEADE, 2020).

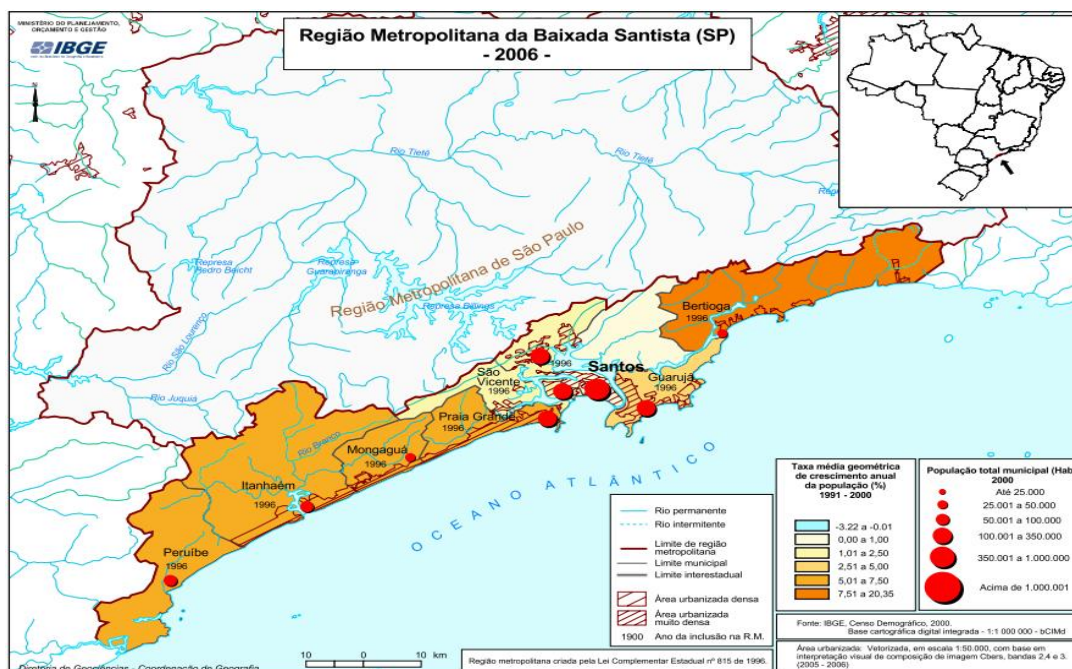


Figura 6. Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS).
Fonte: IBGE (2006)

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho utilizou uma abordagem quali-quantitativa, conforme descrito por Gerhardt e Silveira (2009), combinando aspectos numéricos e descritivos. Trata-se de uma pesquisa aplicada com o objetivo de gerar conhecimentos para aplicação prática e resolução de problemas específicos. A pesquisa é exploratória, baseada em revisão bibliográfica e documental, envolvendo análise de referências teóricas e publicações existentes.

O foco deste trabalho foi o tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos (RSU), especificamente a incineração, como uma alternativa para a Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS). A escolha dessa tecnologia se justifica pelo seu uso extensivo em países desenvolvidos, como os da Europa, e foi um fator importante na decisão de estudar e analisar essa abordagem.

Os dados primários foram obtidos a partir de pesquisas em bases de dados, como o Portal de Periódicos da CAPES, Web of Science, SciELO e Google Acadêmico. As buscas abrangeram temas como resíduos sólidos urbanos na RMBS

e no Brasil; desenvolvimento sustentável; tecnologias de tratamento; energia limpa no Brasil; recuperação e aproveitamento energético; os impactos sociais e ambientais do processo de incineração e nos aterros sanitários. Também foram analisados periódicos dos últimos cinco a dez anos.

Para dados atuais sobre a geração e disposição final dos RSU em aterros sanitários, foram consultadas fontes como IBGE, CETESB, ABRELPE, CEMPRE, EPE, IPT, AGEM, PRGIRS e SNIS. O aterro sanitário mencionado neste trabalho é o Sítio das Neves, localizado na área continental de Santos. A Figura 7 mostra os municípios que possuem aterro sanitário e áreas de transbordo.

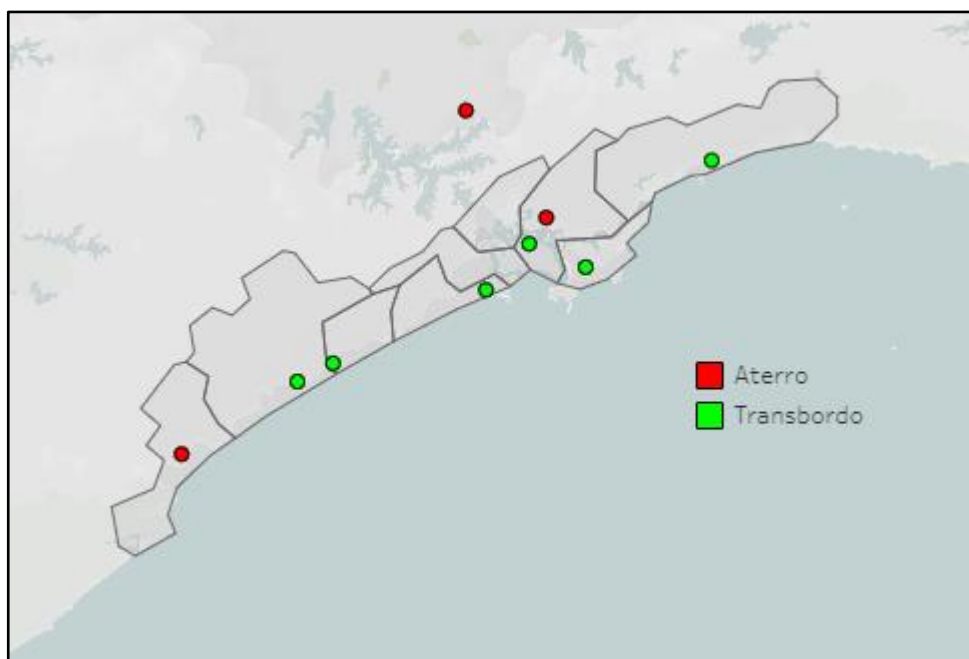


Figura 7. Aterro e transbordo dos municípios da Baixada Santista.

Fonte: Painéis de Dados sobre a Gestão de RSU na Região Metropolitana da Baixada Santista – IPT/AGEM (2022). Adaptada pela autora.

As Figuras 8 e 9 apresentam imagens do aterro sanitário Sítio das Neves, enquanto a Figura 10 mostra o aterro sanitário municipal de Peruíbe. Esses aterros estão localizados na RMBS.



Figura 8. Aterro sanitário Sítio das Neves.

Fonte: Estudo de Tráfego integrante do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) - TTC Engenharia de Tráfego e de Transportes Ltda (2019).



Figura 9. Aterro sanitário Sítio das Neves.

Fonte: Aterro sanitário do Sítio das Neves. Imagem: Valoriza Energia/Divulgação (2020).



Figura 10. Aterro sanitário Municipal de Peruíbe.
Fonte: Jornal Tribuna (2022).

Quanto à biodiversidade, Ribeiro e Borges (2021) apontam que os impactos adversos afetam o solo, a água, o ar e a saúde humana, prejudicando o ecossistema e impedindo a recuperação e a proteção da biodiversidade (BERTÉ *et.al.*, 2023).

Para calcular as taxas percentuais de cobertura de coleta regular direta e indireta de resíduos sólidos urbanos, utilizou-se a quantidade de população urbana com cobertura de coleta domiciliar de RSU dividida pelo total da população urbana, com o resultado multiplicado por cem, conforme demonstrado na Eq. (1). Esse cálculo foi realizado pelo SNIS e replicado para as cinco regiões brasileiras (norte, nordeste, centro-oeste, sul e sudeste).

$$IN016 = \frac{\text{População urbana atendida no município}}{\text{População urbana do município – SNIS/IBGE (POP_URB)}} \times 100 \quad (1)$$

As projeções anuais de coleta e geração de RSU para 2010 foram baseadas em valores diários multiplicados por 26 dias por mês, que representam a prática de coleta no país (ABRELPE, 2010). Para estimar a população dos municípios brasileiros em 2020, foram utilizados dados do IBGE (2020) e o método desenvolvido por Madeira e Simões (1972), que analisa o crescimento populacional entre censos consecutivos, comparando-o com o crescimento de uma área geograficamente maior. As estimativas populacionais foram baseadas nas Unidades da Federação projetadas

pelo método das componentes demográficas, conforme as Projeções da População, Brasil e Unidades da Federação, Revisão 2018 (IBGE, 2020).

Para a análise da geração anual e per capita de resíduos sólidos da Baixada Santista, foram utilizados dados fornecidos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) em parceria com a Agência Metropolitana da Baixada Santista (AGEM), atualizando o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Baixada Santista, com informações dos nove municípios (Bertioga, Cubatão, Guarujá, Itanhaém, Mongaguá, Peruíbe, Praia Grande, Santos e São Vicente).

Para os cálculos da gravimetria de abrangência nacional, foram utilizados dados publicados pela ABRELPE (2020) em escala municipal, incluindo referências acadêmicas, científicas e municipais, contemplando metodologias similares e realizadas durante um mesmo espectro temporal. Os documentos revisados apresentam a composição gravimétrica de 186 municípios brasileiros, com categorização mínima de orgânicos, metal, vidro, plásticos, papel/papelão e rejeitos. A estimativa foi calculada usando a média ponderada da geração total de resíduos sólidos urbanos, levando em conta a faixa de renda dos municípios e suas composições específicas, assim como a população e a produção per capita.

Os dados sobre a composição física e gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos da Baixada Santista foram obtidos do Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Baixada Santista (PRGIRS/BS). Para calcular o Poder Calorífico Inferior (PCI) e o potencial energético dos RSU de cada município, foram consultados dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e do PRGIRS/BS. Adicionalmente, foi feita uma estimativa do potencial energético gerado pela coleta seletiva.

Para determinar a energia total teórica (ET) em kWh/dia obtida a partir dos RSU gerados pelas nove cidades da Região Metropolitana da Baixada Santista, utilizou-se a Eq. (2), adaptada de Poletto (2008) por Gehm (2019):

$$E_T = PCI_T * K * \eta_e * m_{RSU} \quad (2)$$

Onde:

PCI_T: somatória do conteúdo energético dos RSU em base úmida em kcal/kg;

K: fator de conversão de kcal para kWh ($K = 0,001163$);

η_e : eficiência eletromecânica da planta incineradora;

m_{RSU} : quantidade de RSU a ser incinerada diariamente em kg.

Para determinar a potência total teórica (PT) em MW, utilizou-se a Eq. (3), onde o t refere-se ao tempo em horas de operação diária da planta incineradora. Neste trabalho, o tempo foi estabelecido como 24 horas.

$$P_T = \frac{E_T}{t} \quad (3)$$

Sobre a análise dos impactos ambientais e sociais causados pela incineração, foram examinados os principais artigos da Lei nº 12.305/10 e os Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, investigando as cooperativas de catadores de materiais recicláveis e suas atividades atuais.

4 RESULTADOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

Segundo as estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS) cobre uma área de 2.420,5 km² e é composta por nove municípios, com uma população estimada em cerca de 1.897.551 habitantes (IBGE, 2021).

A maior parte dos municípios da Baixada Santista envia seus resíduos sólidos urbanos (RSU) para o aterro sanitário Sítio das Neves, localizado na área continental do município de Santos. Excluindo-se os municípios de Peruíbe e Itanhaém, que utilizam, respectivamente, um aterro municipal próprio e o aterro Lara Central de Tratamento Ltda., em Mauá.

Conforme a autorização da CETESB (2022), o aterro sanitário Sítio das Neves, situado na área continental de Santos, possui uma capacidade licenciada para 2.500

toneladas diárias e está autorizado a receber resíduos até 2023. Esse prazo gera preocupações sobre a destinação dos resíduos após a expiração da vida útil do aterro.

De acordo com o Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Baixada Santista (PRGIRS/BS, 2022), o aterro sanitário Sítio das Neves recebe diariamente cerca de 1.810 toneladas de RSU. Desses resíduos, 42,7% são materiais orgânicos, seguidos por rejeitos e plásticos, que representam 21% e 17,7%, respectivamente.

Embora a quantidade de resíduos recebida esteja dentro dos limites autorizados pela CETESB (2022), a capacidade do aterro Sítio das Neves está saturada, visto que ele opera desde janeiro de 2003, quando o Lixão da Alemoa foi desativado e o local passou a funcionar apenas como estação de transbordo.

A Tabela 5 ilustra a quantidade de RSU gerada diariamente por cada município, bem como a geração per capita em 2022.

Tabela 5: Geração de RSU x per capita da RMBS de 2022

Município	População	RSU (t/dia)	%	RSU <i>per capita</i> (Kg/dia)	%
Bertioga	63,290	90	4,95	1.39	140
Cubatão	129,145	84	4,62	0,67	68
Guarujá	316,405	384	21,11	1.21	122
Itanhaém	98,757	113	6,21	1.14	115
Mongaguá	54,610	72	3,96	1.31	132
Peruíbe	66,201	85	4,67	1.29	130
Praia Grande	316,844	297	16,33	0,94	95
Santos	428,703	439	24,13	1.03	104
São Vicente	357,929	246	13,52	0,69	70
Baixada Santista	1,831,884	1,819	%	0.99	%

Fonte: Painéis de Dados sobre a Gestão de RSU na Região Metropolitana da Baixada Santista – IPT/AGEM (2022). Adaptada pela autora.

O levantamento revelou que Santos é o município com o maior volume de resíduos descartados. No entanto, Bertioga, que possui a segunda menor população, apresenta uma geração de RSU per capita superior.

4.2 COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA E QUANTIDADE PRODUZIDA DE RSU

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos analisada neste trabalho reflete os tipos de materiais descartados pela população da Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS). Foi identificado que o descarte não se limita a plásticos e papéis, há também um volume significativo de outros resíduos com grande potencial de reciclagem, que poderiam ser reutilizados no ciclo produtivo ou transformados em novos materiais, além de serem aproveitados no processo de recuperação energética.

Na Figura 8, pode-se observar a perspectiva da Baixada Santista em relação ao volume de resíduos sólidos urbanos (RSU) descartados, conforme publicado em 2022.

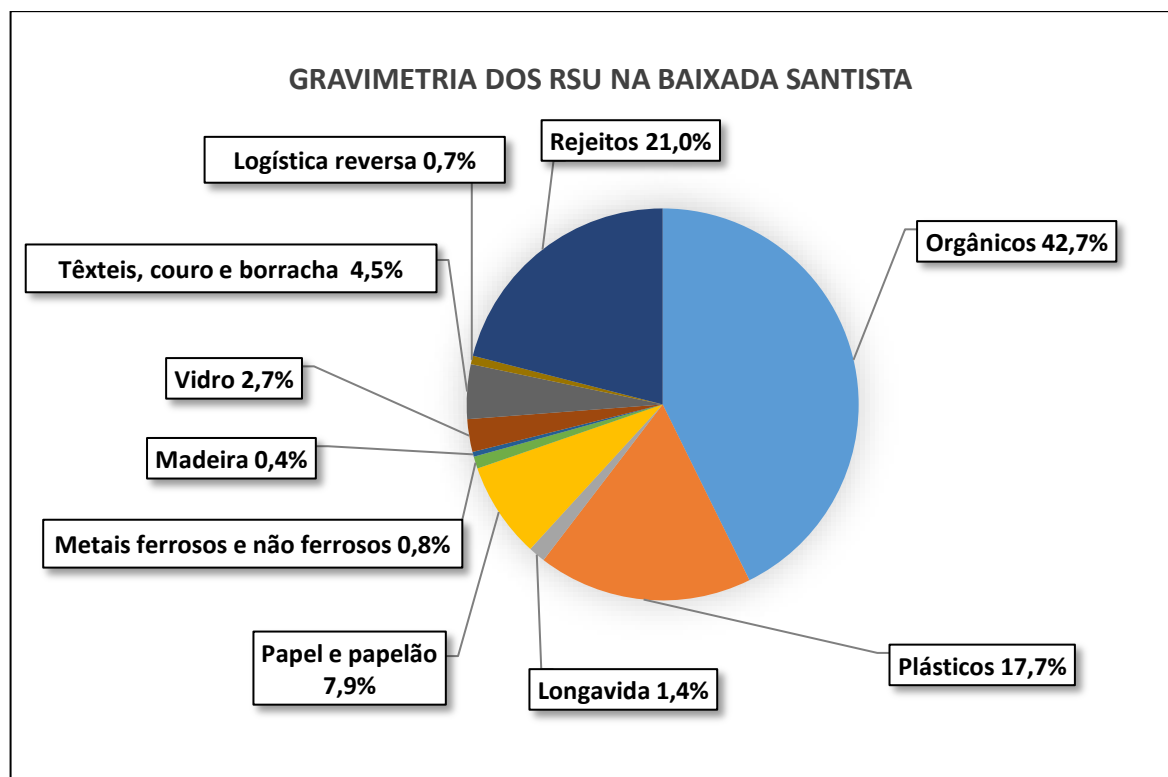


Figura 11. Gravimetria dos RSU na Baixada Santista em 2020.
Fonte: IPT/AGEM (2022). Adaptado pela autora.

A busca por soluções para o manejo de resíduos sólidos abrange aspectos políticos, econômicos, sociais e ambientais. Também é importante reconhecer as responsabilidades e ações previstas no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS),

conforme a Lei 12.305/10, que abrange a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. De acordo com dados publicados pelo SNIS em 2021, houve um aumento significativo no número de municípios brasileiros que demonstraram preocupação com o gerenciamento dos RSU, passando de 801 para 1.438 municípios participantes de iniciativas de coleta seletiva.

Na Região Metropolitana da Baixada Santista, todos os municípios possuem cooperativas para atender à demanda. No entanto, em 2020, o município de Peruíbe não registrou coleta seletiva. Nesse mesmo ano, a coleta total de RSU foi de 20.987 toneladas. A Figura 9 mostra que os materiais com maior volume destinados à coleta seletiva foram papel/papelão e plásticos, com exceção dos rejeitos e dos materiais não identificados (misturados).

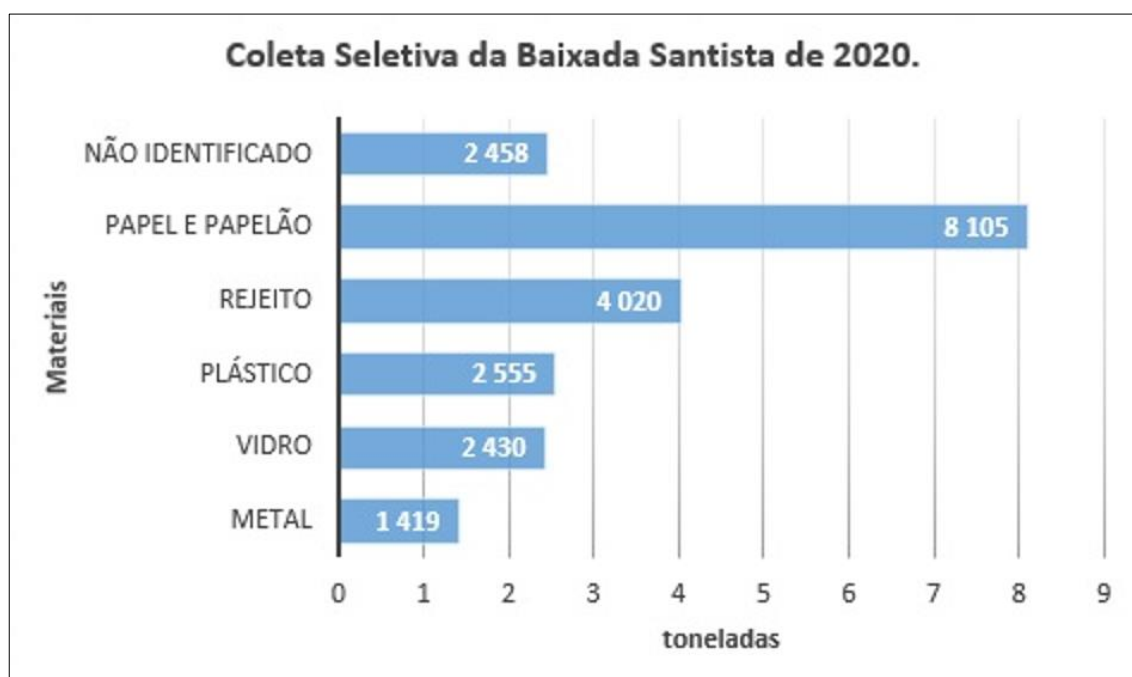


Figura 12. Composição dos materiais - Coleta Seletiva da Baixada Santista em 2020.
Fonte: IPT/AGEM (2022).

A Tabela 6 apresenta um comparativo dos materiais destinados à coleta seletiva entre os anos de 2016 e 2020.

Tabela 6. Coleta seletiva na Baixada Santista 2016 e 2020.

MUNICÍPIO	COLETA SELETIVA (t/2016)	COLETA SELETIVA (t/2020)
Bertioga	494	596
Cubatão	762,7	960
Guarujá	2 200	2 330
Itanhaém	198,4	199
Mongaguá	329	526
Peruíbe	92,5	sem registro
Praia Grande	1 747,2	2 644
Santos	3 765,1	12 299
São Vicente	1 708,8	1 434
Baixada Santista	11 298	20 987

Fonte: IPT/AGEM, 2022. Adaptada pela autora.

Observa-se um aumento considerável na quantidade de resíduos destinados à coleta seletiva, alcançando 85,7%. Isso evidencia o grande potencial energético da coleta seletiva. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (2014), o plástico possui um Poder Calorífico Inferior (PCI) de 6.301 kcal/kg e o papel/papelão tem um PCI de 4.033 kcal/kg. A EPE estima que o processo de incineração pode gerar entre 350 e 600 kWh/t de RSU.

A Tabela 7 fornece informações sobre o poder calorífico de materiais normalmente encontrados nos RSU. Notavelmente, o material orgânico, embora predominante na composição dos RSU, possui um baixo poder calorífico, enquanto a borracha apresenta um PCI superior a 6.500 kcal/kg.

Tabela 7. Poder calorífico de materiais encontrados em RSU (kcal/kg).

Material	Poder calorífico inferior (kcal/kg)
Plástico	6.301
Borracha	6.780
Couro	3.629
Têxteis	3.478
Madeira	2.520
Alimentos	1.311
Papel	4.033

Fonte: EPE (2014), adaptado pela autora.

A Tabela 8 utiliza valores diários de resíduos, conforme dados publicados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo em 2018, para calcular a quantidade incinerada diariamente e por hora. Os valores de PCI das frações de materiais encontrados nos RSU foram obtidos da EPE (2014).

Tabela 8. Energia e potência geradas por RSU da Região Metropolitana da Baixada Santista.

Material	Energia Total kWh/dia	Potência total MW/h
Matéria orgânica	404.307	16.847
Plásticos	975.412	40.642
Papel, papelão e longa vida	374.711	15.613
Borracha	45.397	1.892
Têxteis	127.380	5.307
Madeira	18.506	771
Total	1.945.712	81.071

Fonte: IPT (2018), adaptado pela autora.

Na Tabela 9 apresenta o consumo de energia de 2020 na Região Metropolitana da Baixada Santista, dados publicados pela Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

Tabela 9. Consumo de energia em 2020 – Região Metropolitana da Baixada Santista.

Município	Eletricidade MWh/ano	Eletricidade MWh/dia
Bertioga	220.073	603
Guarujá	692.360	1.897
Santos	1 315.975	3.605
Cubatão	1 055.768	2.893
São Vicente	481.432	1.319
Praia Grande	661.754	1.813
Mongaguá	112.328	308
Itanhaém	223.048	611
Peruíbe	145.092	398
Total	4 907.830	13.446

Fonte: SIMA (2020b), adaptado pela autora.

Os valores em MWh/dia foram calculados com base nos 365 dias do ano, permitindo mensurar o consumo total de energia em 2020. A Tabela 10 projeta a

quantidade de energia e potência que poderia ser gerada a partir dos materiais com maior PCI, como papel/papelão e plástico, coletados na coleta seletiva de 2020 na Baixada Santista.

Tabela 10. Energia e potência geradas pelos plásticos e papel/papelão – Coleta seletiva Baixada Santista em 2020.

Material	Energia Total kWh/ano	Energia Total kWh/dia	Potência total MW/h
Papel e papelão	13.305.433	36.453	1.519
Plásticos	6.553.120	17.954	748
Total	19.858.553	54.407	2.267

Fonte: Elaborada pela autora.

Os cálculos da Tabela 10 mostram uma estimativa de energia e potência geradas a partir dos RSU coletados. Se a coleta seletiva mantiver um volume constante de massa coletada, ela pode contribuir significativamente para a economia de energia elétrica em algumas cidades da Baixada Santista e reduzir o volume de RSU descartados inadequadamente em aterros sanitários, aumentando assim a vida útil dos aterros e mitigando os impactos sobre a biodiversidade e o meio ambiente – incluindo lençóis freáticos, solo e atmosfera.

Uma pesquisa conduzida por Ahmad et al. (2013) no município de Johor, Malásia, buscou sensibilizar a população local sobre a importância de práticas mais eficazes no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU), visando a minimização dos impactos ambientais. Foram realizadas entrevistas com moradores e trabalhadores por meio de contatos diretos e questionários, nos quais foram analisados métodos de descarte como aterro, reciclagem, incineração e compostagem. O estudo considerou diversos impactos ambientais, incluindo ruído, visibilidade, fauna e flora, ecologia de riachos, qualidade do ar, uso da terra, eliminação de habitats e vibração. Os autores identificaram prioridades no tratamento dos impactos ambientais a serem consideradas nos planos de disposição de resíduos. Conforme apresentado na Tabela 11, o aterro sanitário foi percebido como o método que gera os maiores problemas relacionados à visibilidade, além de causar significativos efeitos na fauna, flora, ecologia de riachos, eliminação de habitats, qualidade do ar e uso da terra.

Tabela 11. Resumo das prioridades para ponderação dos impactos ambientais nos planos de disposição.

Opções de descarte	Barulho	Visibilidade	Fauna e flora	Ecologia de riachos	Qualidade do ar	Uso da terra	Eliminação de habitats	Vibração
Aterro	0,1220	0,4172	0,5584	0,5580	0,6354	0,6813	0,6105	0,0951
Reciclagem	0,2274	0,2945	0,1128	0,1491	0,1116	0,1253	0,1055	0,2329
Incineração	0,4231	0,1294	0,1282	0,1715	0,1910	0,1369	0,2111	0,3743
Compostagem	0,2274	0,1585	0,2006	0,1213	0,1146	0,1053	0,0730	0,2977

Fonte: Ahmad et al. (2013). Adaptado pela autora

A incineração se destacou como a opção mais indicada para melhorar a visibilidade ambiental, preservar a fauna e flora, proteger a ecologia de riachos, melhorar a qualidade do ar e otimizar o uso da terra. De maneira similar, a reciclagem de resíduos demonstrou ser eficaz na preservação da fauna e flora, na proteção da ecologia de riachos e habitats, além de melhorar a qualidade do ar e o uso eficiente da terra. A compostagem foi vista como a melhor alternativa em termos de preservação da ecologia de riachos, proteção dos habitats e uso do solo. Em contraste, o aterro sanitário foi associado a menores níveis de ruído e vibração. No entanto, observou-se que essa prática tem se tornado menos favorável, pois apresentou valores elevados em grande parte dos impactos ambientais analisados, como demonstrado na Figura 13.

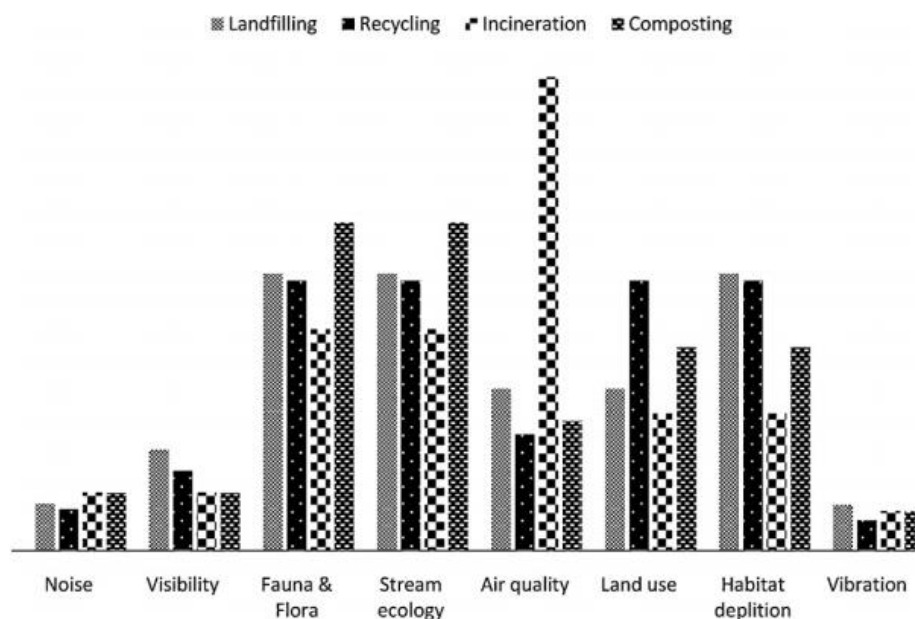


Figura 13. Contribuição dos impactos ambientais para a seleção dos planos de disposição final de RSU em Johor Bahru, Malásia.

Fonte: Ahmad et al. (2013).

Durante as entrevistas, foi identificada uma resistência dos entrevistados quanto ao processo de incineração, principalmente devido à percepção de que essa tecnologia poderia gerar poluição ambiental e demandar altos custos de instalação e operação. Além disso, a falta de testes locais dessa tecnologia gerou insegurança quanto à sua eficácia e confiabilidade na região. Em contraste, na Europa, a incineração é amplamente vista como uma oportunidade promissora para a geração de calor, energia e combustíveis a partir de resíduos sólidos, sendo considerada uma alternativa ambiental e economicamente mais vantajosa em comparação à compostagem e ao aterro. Outro benefício destacado é a significativa redução do volume de resíduos, o que prolonga a vida útil dos aterros sanitários que ainda precisam ser utilizados.

5 DISCUSSÃO

Com base no desenvolvimento deste trabalho, observou-se que o volume de resíduos sólidos urbanos (RSU) gerado na Região Metropolitana da Baixada Santista possui um significativo potencial energético. No entanto, esses resíduos têm sido predominantemente descartados diretamente em aterros sanitários, sem qualquer forma de tratamento prévio. Reaproveitar o potencial energético desses resíduos representa uma alternativa sustentável para a produção de energia elétrica, que poderia atender parte da demanda energética da região e reduzir a necessidade de expansão de novas células de aterros sanitários. O tratamento dos RSU pode levar a uma redução de aproximadamente 92% no volume de resíduos destinados aos aterros.

Os dados obtidos indicam que a incineração dos RSU na Baixada Santista tem o potencial de gerar 54.407 kWh de energia elétrica. Com o crescimento contínuo na produção de resíduos, impulsionado pelo aumento populacional e uma coleta mais regular, esse potencial poderia elevar-se para 101.033 kWh em quatro anos. Essas projeções sublinham a importância de se adotar tecnologias de tratamento avançadas

para maximizar o aproveitamento energético dos resíduos e minimizar o impacto ambiental.

A revisão bibliográfica constatou que o processo de incineração não gera chorume, ao contrário dos aterros sanitários, onde o chorume é um subproduto significativo da decomposição dos resíduos. No entanto, a incineração produz materiais inertes e gases que podem comprometer o meio ambiente e deslocar a biodiversidade. Portanto, é essencial implementar sistemas de controle avançados para a captura e tratamento desses gases, como filtros de partículas e sistemas de neutralização de gases ácidos.

Nos aterros sanitários, além do chorume, o metano, um dos gases mais poluentes e contribuintes para o efeito estufa, é gerado durante a decomposição dos resíduos. Embora o metano seja capturado e queimado, convertendo-o em dióxido de carbono — um gás poluente com um impacto menor no aquecimento global —, as emissões ainda são significativas. Globalmente, os aterros sanitários produzem entre 20 à 60 milhões de toneladas de metano anualmente, destacando que, mesmo sendo uma opção adequada para o manejo de resíduos, as emissões de gases que contribuem para o aquecimento global são consideráveis, especialmente nos primeiros anos de operação (REZENDE, 2013).

A análise dos dados e a revisão da literatura indicam que a incineração de resíduos sólidos urbanos é uma alternativa promissora em termos de redução do volume de resíduos e geração de energia. No entanto, os custos iniciais e contínuos associados à tecnologia de incineração são consideráveis e exigem investimentos robustos, que podem ser um desafio para a implementação em larga escala. Por outro lado, os aterros sanitários, embora mais econômicos a curto prazo, acarretam custos ambientais significativos, incluindo a produção de metano e chorume, ambos altamente poluentes. O impacto ambiental a longo prazo dos aterros é substancial, destacando a necessidade de alternativas mais sustentáveis.

Adicionalmente, a implementação de sistemas de controle de emissões em instalações de incineração pode mitigar os impactos ambientais, tornando essa alternativa mais viável e ambientalmente responsável. A escolha entre essas opções deve levar em consideração não apenas os custos econômicos, mas também os impactos ambientais e sociais a longo prazo.

A sustentabilidade a longo prazo do manejo de resíduos na Baixada Santista dependerá da capacidade de integrar tecnologias avançadas de tratamento de resíduos, políticas públicas eficientes e a conscientização da população sobre a importância da redução, reciclagem e a reutilização de resíduos para a redução na geração de resíduos. A incineração, quando bem gerida, pode ser uma parte crucial dessa estratégia integrada, contribuindo para a geração de energia e a redução do impacto ambiental dos resíduos.

6 CONCLUSÃO

A análise empreendida neste trabalho buscou verificar dados disponíveis na Baixada Santista. No entanto, é possível que algumas informações não tenham sido contempladas devido à escassez de dados na literatura consultada.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, constatou-se que nem todos os municípios possuem estudos de caracterização gravimétrica publicados. Por exemplo, o município de São Vicente, na ausência de um estudo específico, adotou os dados de caracterização dos resíduos sólidos gerados no município de Santos e os dados presentes no Plano Nacional de Resíduos Sólidos, conforme sugestão da Comissão de Acompanhamento (CA). Os municípios de Cubatão e Guarujá também não possuem estudos desenvolvidos. No Plano Municipal de Cubatão, é citado que, até a publicação do PMGIRS, não havia um estudo de caracterização que apontasse com precisão a quantidade de cada material gerado pela população. Já no PM de Guarujá, apenas se comenta sobre a importância do estudo, sem menção à sua realização ou justificativa.

Foi observado também que o aterro sanitário é considerado o método mais adequado para a disposição final dos rejeitos dos RSU, e não uma forma de tratamento. Isso representa um problema devido aos impactos ambientais associados ao descarte inadequado que ainda ocorre na RMBS. O aterro é visto como uma solução simples e de mais fácil execução, não necessitando de grandes investimentos.

A sociedade enfrenta um grande desafio quanto à gestão dos resíduos sólidos urbanos, pois a produção de resíduos é constante e, enquanto houver civilização, sempre haverá resíduos. Esse desafio pode impactar direta e indiretamente a saúde humana e o meio ambiente. Desta forma, a contribuição da sociedade é de vital importância na conscientização quanto a hierarquia de resíduos e ao descarte irregular.

Em relação à biodiversidade, é necessário desenvolver estudos para levantar dados sobre a ação de metais pesados, poluentes orgânicos e ácidos na biodiversidade do ecossistema antes, durante e depois da instalação e operação da planta da URE, para monitorar a biodiversidade da região.

A escolha do método de tratamento de resíduos sólidos urbanos deve levar em consideração não apenas a eficiência energética e os impactos ambientais, mas também os aspectos econômicos e sociais. A incineração representa uma alternativa viável para a redução de resíduos e geração de energia, desde que acompanhada de tecnologias adequadas para o controle de emissões e impactos. No entanto, a gestão integrada de resíduos, combinando diferentes métodos e promovendo a redução e reutilização de resíduos, é crucial para alcançar uma solução sustentável e equilibrada.

Conclui-se que este trabalho tornou clara a necessidade de uma resposta urgente quanto ao tratamento dos RSU, a curto e médio prazo. Para uma mudança efetiva e sustentável na sociedade em geral, são necessários mais estudos sobre as tecnologias de tratamento e sua viabilidade social, econômica e ambiental. Esses estudos devem gerar subsídios para a tomada de decisões e promover discussões para a formulação de políticas públicas voltadas à conservação e à educação ambiental.

REFERÊNCIAS

1. AHMAD, H. A., ZAINURA, Z. N., RAFIU, O. Y., MOHD, F.M.D. D., MOHD, A. A. H., Assessing environmental impacts of municipal solid waste of Johor by analytical hierarchy process, *Resources, Conservation and Recycling*, v. 73, 2013, p. 188-196, ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.01.003>.
2. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, **Panorama 2010**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/> Acesso em: 11 out. 2021.
3. _____. **Panorama 2020**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/> Acesso em: 23 mar. 2021.
4. _____. **Panorama 2021**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/> Acesso em: 23 mar. 2021.
5. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR 8.419/1992**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, p. 07. 1992.
6. _____. **NBR 10.004/2004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, p. 71. 2004.
7. BAPTISTA, M.; CARVALHO, R. V.; FAGUNDES, P. H. P. R. M.; NÓBREGA, M. J. R. Análise de Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil. **Revista Tecnológica da Universidade de Santa Úrsula**, RJ. v. 2, n. 1, p. 55-72, jan/jun. 2019. Disponível em: <http://revistas.icesp.br/index.php/TEC-USU/issue/view/130>. Acesso em: 07 ago. 2022.
8. BARTELMUS, P., 2003. Dematerialization and capital maintenance: two sides of the sustainability coin. **Ecol. Econ.**, v. 46, p. 61-81. [http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00078-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00078-8).
9. BENDITO, B. P. C.; SOUZA, P. A. de; PICANÇO, A. P.; SILVA, R. R. da; SIEBENEICHLER, S. C. Diagnóstico da degradação ambiental na área de depósito inadequado de resíduos sólidos de Porto Nacional – TO. **Gaia Scientia**, [S. l.], v. 11, n. 3, 2017. DOI: 10.22478/ufpb.1981-1268.2017v11n3.29908. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/index.php/gaia/article/view/29908>. Acesso em: 01 maio. 2024.
10. BERTÉ, R. *et al.* Mastofauna assessment as a biodiversity preservation and conservation tool in the implementation of a sanitary landfill: Avaliação da mastofauna como ferramenta de preservação e conservação da biodiversidade na implantação de um aterro sanitário. **Concilium**, v. 23, n. 11, p. 268-279, 2023.
11. BERTICELLI, R. *et al.* Contribuição da coleta seletiva para o desenvolvimento sustentável municipal. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, 13, n. 2, 2020., p. 781-796

12. BRASIL. **Lei no 12.305, 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. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 02 de ago. 2010.
13. BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Plano Nacional de Energia 2030.** Brasília, DF: Presidência da República. 2020. p. 1-187. Disponível em: 32 <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacionalde-Energia-2030>. Acesso em: 13 mar. 2022.
14. BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB. **Caderno Temático 4: Valorização de resíduos orgânicos.** Brasília: MDR.SNS, 2019. 43 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/revisao-2019/cadernos-tematicos>. Acesso em 11 de ago. 2022.
15. BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. **Diagnóstico Temático. Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - Visão Geral ano referência 2020.** Brasília, dez. 2021. Disponível em: <http://antigo.snis.gov.br/diagnosticos/residuos-solidos>. Acesso em: 20 de fev. 2022.
16. COLVERO, D. A; PFEIFFER, S. C; ALMEIDA, M. G.; GOMES, A. P. ATERRO SANITÁRIO DE GOIÂNIA: UMA IDENTIDADE TERRITORIAL E A VULNERABILIDADE E EXCLUSÃO SOCIAL DA POPULAÇÃO DO SEU ENTORNO. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, Brasília, DF, v. 14, n. 2, p. 03-20, jul. / dez., 2017. Disponível em: <<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=1178>>. Acesso em: 05 de jun. 2022.
17. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos.** São Paulo, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 29 out. 2022.
18. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. **Licença de Instalação.** São Paulo, 2024. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/blog/tag/licenca-de-instalacao/>. Acesso em: 01 de maio. 2024
19. Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRE. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado** / Coordenação geral André Vilhena. – 4. ed. – São Paulo (SP): CEMPRE, 2018. 316 p.: il.; 11.264 kbytes. Disponível em: <https://cempre.org.br/manuais/>. Acesso: 23 de abr. 2022.
20. CORDIER, S., CHEVRIER, C., ROBERT-GNANSIA, E., LORENTE, C., BRULA, P., HOURS, M. Risk of congenital anomalies in the vicinity of municipal solid waste incinerators. **Occup Environ Med** 2004; v. 61(1), p. 8-15.
21. DANTHUREBANDARA, Maheshi et al. Environmental and socio-economic impacts of landfills. **Linnaeus Eco-Tech**, v. 2012, p. 40-52.

22. DE SOUSA, C. A. F.; CAMPOS, J. C. B.; DE OLIVEIRA, B. M. Impactos ambientais urbanos: um estudo de caso no bairro do grotão, em João Pessoa-PB, Brasil. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 9, n. 16, 2016.
23. DOMINGUEZ, C. R. A. **Incineração como rota tecnológica para aproveitamento dos resíduos sólidos gerados no município de Foz do Iguaçu**, Estado do Paraná. 2024. 80 f. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade da Universidade Federal da Integração Latino-Americana. Foz do Iguaçu, 2024. Disponível em: <https://dspace2.unila.edu.br/handle/123456789/7886>. Acesso em: 20 de abr. 2024.
24. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS**. Rio de Janeiro: EPE, 2008. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/biogas/wp-content/uploads/sites/3/2014/01/mme_epe_aproveitamento_rsu_ms.pdf. Acesso em: 25 de set. 2022.
25. _____. **Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Rio de Janeiro: EPE, 2014. Nota técnica DEA 18/14 – Série Recursos Energéticos. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 01 de maio. 2022.
26. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. **Waste-to-energy Overview**. Disponível em: <https://www.epa.gov/waste-to-energy>. Acesso em: 17 de dez. 2023.
27. FREIRE, G. J. M. **Análise de Municípios Mineiros quanto à Situação de seus Lixões. Dissertação**. 2009. (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais – Instituto de Geociências – Departamento de Cartografia. – UFMG, Belo Horizonte, 2009. 117 p. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/MPBB-7TXLZL>. Acesso em 09 de mar. 2022.
28. FRANCHINI, M., RIAL, M., BUIATTI, E., BIANCHI, F. Health effects of exposure to waste incinerator emissions: a review of epidemiological studies. **Ann 1st Super Sanità** 2004; v. 40(1). P. 101-115.
29. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados – SEADE. Repositório. **População dos Municípios do Estado de São Paulo**. 2020. Disponível em: <https://repositorio.seade.gov.br/dataset/populacao-municipal-2010-2021>. Acesso em: 02 de mar. 2022.
30. _____. **Plataforma interativa de consulta de dados**. 2021. Disponível em: <https://www.seade.gov.br/>. Acesso em: 06 de mar. 2022.
31. GEHM, S. C. **Avaliação de alternativas para geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos**. 2019. 90 f. Dissertação (mestrado) - Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2019.
32. GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. Métodos de Pesquisa. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

33. GHESLA PAMELA L, GOMES LUCIANA P, CAETANO MARCELO O, MIRANDA LUIS AS, DAI-PR LÉA B. Municipal solid waste management from the experience of São Leopoldo/Brazil and Zurich/Switzerland. **Sustainability**. 2018;10(3716).
34. GOUVEIA, N. Resíduos Sólidos Urbanos: Impactos Socioambientais e Perspectiva de Manejo Sustentável com Inclusão Social. **Revista Ciência e Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v.17, n.6, jun. 2012, p. 1503-1510.
35. GUINAN, B. **Critical Analysis of the Potential of Mechanical Biological Treatment for Irish Waste Management (2005-WRM-MS-35): Synthesis Report**. Environmental Protection Agency, 2008.
36. GUTBERLET, J. Cooperative urban mining in Brazil: Collective practices in selective household waste collection and recycling. **Waste Management**. 2015, v. 45, p. 21-31.
37. GUTBERLET, J. More inclusive and cleaner cities with waste management co-production: Insights from participatory epistemologies and methods. **Habitat Int**. 2015; v. 46; p. 234–243.
38. GUTBERLET, J. Regenerating cities with community-based inclusive waste management practices. **Sustainable City XI**. 2016; v. 204, p. 57-63.
39. GUTBERLET, J., CARENZO S., KAIN J. H., AZEVEDO, A. M. M. Waste Picker Organizations and Their Contribution to the Circular Economy: Two Case Studies from a Global South Perspective. **Resources**. 2017; v. 6(4) p. 52.
40. HELENA FLAMINI, S. Para onde vai o resíduo que você gera? **Guia Universitário de Informações Ambientais**, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 56–58, 2021. Disponível em: <https://www.revistaguia.ufscar.br/index.php/guia/article/view/44>. Acesso em: 5 de jun. 2022.
41. HULTMAN, J., CORVELLEC, H., 2012. The European Waste Hierarchy: from the socio-materiality of waste to a politics of consumption. **Environ. Planning-Part A**, v. 44, p. 2413-2427. <http://dx.doi.org/10.1068/a44668>.
42. Implementação de ações do plano regional de gestão integrada de resíduos sólidos da Baixada Santista, **IAPRGIRS/BS** [livro eletrônico] / [coordenadoras Letícia dos Santos Macedo, Thiago Bianconi Wiggert]. -- São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Santos, SP: Agência Metropolitana da Baixada Santista, 2024. Disponível em: <https://ipt.br/residuossolidosbaixadasantista/>. Acesso em: 01 de mai. 2024
43. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Região Metropolitana da Baixada Santista (SP) - 2006**. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/porta1.php#mapa202196>. Acesso em: 02 de mar. 2022.
44. _____. Censo demográfico: 2010: **características da população e dos domicílios: resultados do universo**. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=793>. Acesso em: 02 de mar. 2022.

45. _____. **Estimativas da População Residente para os Municípios e para as Unidades da Federação Brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2020.** Disponível em: [liv101747.pdf \(ibge.gov.br\)](#). Acesso em: 12 de mar. 2022.
46. _____. **População residente enviada ao Tribunal de Contas da União. Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação - 2001-2020.** Disponível em: [serie_2001_2020_TCU.xls \(ibge.gov.br\)](#). Acesso em: 07 de jul. 2022.
47. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). **Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Baixada Santista:** Painéis de dados – Panorama socioeconômico da Baixada Santista, 2022. Disponível em: <https://ipt.br/residuossolidosbaixadasantista/>. Acesso em: 01 de jan. 2023.
48. JUCÁ, J. F. T. (Coord.). **Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão.** Jaboatão dos Guararapes, PE: Grupo de Resíduos Sólidos – UFPE, 2014. Disponível em: <http://www.protegeer.gov.br/biblioteca/publicacoes/gestao-integrada-de-rsu/50-analise-das-diversas-tecnologias-de-tratamento-e-disposicao-final-de-residuossolidos-urbanos-no-brasil-europa-estados-unidos-e-japao>. Acesso em: 06 de fev. 2019.
49. LEITE, N. D.; PAIVA, B. K. V.; OLIVEIRA, M. Z. F. S.; SANTOS, G. O. **Lixões, aterros controlados e aterros sanitários: o que mudou no Brasil após a publicação da Lei Federal 12.305/2010.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30º., 16 a 19 jun. 2019, Natal, no Rio Grande do Norte. Anais [...] Natal, no Rio Grande do Norte, 2019. Disponível em: <https://abes-dn.org.br/analseletronicos/trabalhos.php?evento=45&grupo=1&tema=3&pagina=9>. Acesso em: 27/02/2022.
50. LOURENÇO, J. C. **Gestão dos resíduos sólidos urbanos no município de Campina Grande/PB.** 2018. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia em Recursos Naturais, 2018. 202f. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/1748>. Acesso em: 25 de set. 2022.
51. LUIZ, B. V. **Análise de emissões de gases de efeito estufa dos resíduos sólidos urbanos do município de Florianópolis a partir da proposição de cenários de valorização de resíduos.** 2022. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Clima e Ambiente, Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.
52. MADEIRA, J. L.; SIMÕES, C. C. da S. Estimativas preliminares da população urbana e rural segundo as unidades da federação, de 1960/1980 por uma nova metodologia. **Revista Brasileira de Estatística**, Rio de Janeiro: IBGE, v. 33, n. 129, p. 3-11, jan./mar. 1972.
53. MARTINS, W. A.; NÓBREGA, C. C.; IBÁÑEZ-FORÉS, V.; BOVEA, M. D.; PIMENTEL, C. H. L.; SILVA, V. F. ANÁLISE SOBRE OS IMPACTOS AMBIENTAIS DO PROGRAMA DE COLETA SELETIVA DO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA - PB/BRASIL. **Revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, [S. l.], v. 14, n. 3, p. 1284–1305, 2021. DOI: 10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.3.76465. Disponível

em: <https://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/76465>. Acesso em: 7 jul. 2024.

54. MENDONÇA, A. K. S.; BORNIA, A. C. Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: Análise das Políticas Públicas. *MIX Sustentável*, [S.l.], v. 5, n. 2, p. 109-122, jun. 2019. ISSN 24473073. Disponível em: Acesso em: dia mês. ano. doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073>. MIX2019.v5. n2.109-122.
55. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Secretaria de Qualidade Ambiental. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Planares** [recurso eletrônico] / coordenação de André Luiz Felisberto França... [et al.]. – Brasília, DF: MMA, 2022.
56. MORAIS, M. M., MORAIS, G. A., NETO, L. M. P., SOBRINHO, M. A. M. **Impactos ambientais causados por lixiviados de locais de disposição de resíduos sólidos urbanos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30º., 16 a 19 jun. 2019, Natal, no Rio Grande do Norte. Anais [...] Natal, no Rio Grande do Norte, 2019. Disponível em: <https://abes-dn.org.br/analseletronicos/trabalhos.php?evento=45&grupo=1&tema=3&pagina=9>. Acesso em: 22 de maio 2022.
57. MORALES, B. F.; COSTA, A. L.; NOGUEIRA, R. B.; ARRAES, C. L. DEFINIÇÃO DE ALTERNATIVA LOCACIONAL PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO EM ITACOATIARA – AM PELA INTEGRAÇÃO DE CRITÉRIOS RESTRITIVOS E TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 12, dec. 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n12-457>. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/21854/0>. Acesso em 09 de mar. 2022.
58. OLIVEIRA, C. P. **Lixo: problemas, caminhos possíveis e práticas diárias na percepção do cidadão**. 2011. 100 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2011. Acesso em: 17 de dez. 2023.
59. Organização das Nações Unidas - ONU. **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. 2015**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em 15 jan. 2022.
60. OZBAY, G., JONES, M., GADDE, M., ISAH, S., ATTARWALA, T., Design and Operation of Effective Landfills with Minimal Effects on the Environment and Human Health, **Journal of Environmental and Public Health**, 2021, 6921607, 13 pages, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6921607>
61. PIMENTEL, C. H. L.; NÓBREGA, C. C.; JUCÁ, J. F. T.; PIMENTEL, U. H. O.; MARTINS, W. A. A gestão das rotas tecnológicas de tratamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos no município de João Pessoa/PB / Management of technological routes for treatment and final destination of urban solid waste in the municipality of João Pessoa / PB. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 7063–7088, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n2-126. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/6834>. Acesso em: 25 de set. 2022.

62. Plano Metropolitano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - PMetGIRS. 2023 <https://pmetgirs.com/wp-content/uploads/2023/10/PMetGIRS-Diagnostico-Geral.pdf>. Acesso em 14 jul. 2024.
63. Plano regional de gestão integrada de resíduos sólidos da Baixada Santista, **PRGIRS/BS** [livro eletrônico] / [coordenadoras Fernanda Faria Meneghello, Cláudia Echevenguaá Teixeira]. -- São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Santos, SP: Agência Metropolitana da Baixada Santista, 2018. Disponível em: <https://www.agem.sp.gov.br/plano-regional-de-gestao-integrada-de-residuos-solidos-da-baixada-santista/>. Acesso em: 25 de set. 2022.
64. PLASTIVIDA; ABRELPE, 2012. Recuperação Energética, Resíduos Sólidos Urbanos. Caderno Informativo. Plastivida – Instituto Socioambiental dos plásticos. ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.
65. PREFEITURA MUNICIPAL DA ESTÂNCIA BALNEÁRIA DE BERTIOGA. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Bertioga: PMB, 2016.
66. PREFEITURA MUNICIPAL DA ESTÂNCIA BALNEÁRIA DE MONGAGUÁ. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos** - PMGIRS. Mongaguá: PMM, 2013.
67. PREFEITURA MUNICIPAL DA ESTÂNCIA BALNEÁRIA DE PERUÍBE. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Peruíbe: PME BP, 2015.
68. PREFEITURA MUNICIPAL DA ESTÂNCIA BALNEÁRIA DE PRAIA GRANDE. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município de Praia Grande** – PGIRS. Praia Grande: PMPG, 2014.
69. PREFEITURA MUNICIPAL DE CUBATÃO. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Cubatão: PMC, 2012.
70. PREFEITURA MUNICIPAL DE GUARUJÁ. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Guarujá**. Guarujá: PMG, 2012.
71. PREFEITURA MUNICIPAL DE ITANHAÉM. **Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município de Itanhaém/SP – Versão preliminar**. Itanhaém: PMI, 2014.
72. PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTOS - PMS. **Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município de Santos**. Santos: PMS, 2012.
73. PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO VICENTE - PMSV. **Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município de São Vicente**. São Vicente: PMSV, 2015.
74. RANIERO, M.; MINCATO, R. L. Resíduos sólidos e coleta seletiva, um estudo de caso no município de Alfenas-MG. In: **A EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM UMA PERSPECTIVA INTERDISCIPLINAR**. Editora Científica Digital, 2020. p. 344-364.
75. REICHERT, G. A. Apoio à tomada de decisão por meio da avaliação do ciclo de vida em sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: o caso de

Porto Alegre, Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013. 276p.

76. REZENDE, J. H. *et al.* Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 1–8, jan. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/i/2013.v18n1/>. Acesso em: 15 de jul.2022.
77. RIBEIRO, H.; BESEN, G. R. Panorama da coleta seletiva no Brasil: Desafios e perspectivas a partir de três estudos de caso. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, v. 2, n. 4, 2006, p. 2-18.
78. RIBEIRO, S. de S.; BORGES, F. Q. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. RECIMA21 - **Revista Científica Multidisciplinar** - ISSN 2675-6218, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 195–213, 2021. DOI: 10.47820/recima21.v2i2.95. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/95>. Acesso em: 9 jul. 2024.
79. RODI'C, L., WILSON, D.C. Resolving governance issues to achieve priority sustainable development goals related to solid waste management in countries. **Sustainability**. 2017; 9: 404 e 422.
80. RODRIGUES, C. M., SCHEFFER, P. A., TOCCHETTO, M. R. L., COLOMÉ, J. S., & DE FREITAS SACCOL, A. L. (2019). Gerenciamento de resíduos sólidos em um restaurante universitário. **Disciplinarum Scientia**. Série: Ciências da Saúde, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 561-579, 2019.
81. SANTOS ELIO, L., FIGUEIREDO, A. E. P., CARDOSO, L. F. de M., GONÇALVES, J. M. F., JOVITO, M. T., SANDALL, W. T., BRANCO, J. C. **Parecer Técnico**: Análise do estudo de impacto ambiental URE Valoriza Santos Santos/SP, out. de 2020. ECEL Ambiental. Disponível em: <https://acpo.org.br/wp-content/uploads/2021/01/parecer-tecnico-URE-valoriza-santos.pdf>. Acesso em 01 jul. 2024.
82. SANTOS JÚNIOR, R. S. dos; SOUZA, R. R. de. Panorama dos impactos causados pelo descarte inadequado dos resíduos sólidos na biodiversidade. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 062–069, 2023. DOI: 10.24221/jeap.8.2.2023.5284.062-069. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/5284>. Acesso em: 8 jul. 2024.
83. SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente - SIMA. **Plano de resíduos sólidos do estado de São Paulo 2020** [recurso eletrônico] / Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente; Autores André Luiz Fernandes Simas ... [et al.]; Organizadores André Luiz Fernandes Simas ... [et al.]; Coordenação Gil Kuchembuck Scatena ... [et al.]; Colaboradores Adriano Ambrósio Nogueira de Sá ... [et al.]. – 1.ed. – São Paulo: Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, 2020. 1 arquivo de texto (277 p.): il. color., PDF; 33,5 MB. ISBN 978-65-993223-0-3. Disponível em: infraestruturameioambiente.sp.gov.br. Acesso em: 25 de set. 2022.

84. _____. **Consumo de energia no Estado de São Paulo**, 2020b. Disponível em: <https://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/Portalcev2/Municipios/ranking/index.html>. Acesso em: 01 de ago. 2022.
85. SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 12.300, de 16 de março de 2006**. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes no Estado de São Paulo. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2006/lei-12300-16.03.2006.html>. Acesso em: 19 de fev. 2022.
86. SÃO PAULO (Estado). **Lei Complementar nº 815, de 30 de julho de 1996**. Cria a Região Metropolitana da Baixada Santista e autoriza o Poder Executivo a instituir o Conselho de Desenvolvimento da Região Metropolitana da Baixada Santista, a criar entidade autárquica e a constituir o Fundo de Desenvolvimento Metropolitano da Baixada Santista, e dá providências correlatas. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/norma/?id=10177>. Acesso em: 20 de fev. 2022.
87. SILVA, E. R. DA; TONELI, J. T. DE C. L.; PALACIOS-BERECHE, R. Estimativa do potencial de recuperação energética de resíduos sólidos urbanos usando modelos matemáticos de biodigestão anaeróbia e incineração. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 347–357, mar. 2019.
88. SILVA SOBRINHO, L. H. R. **Estudo Para Aplicação Da Tecnologia De Aproveitamento Energético De Resíduos Sólidos Urbanos: Um Estudo De Caso Para O Município De Magé/RJ** / Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2021. 109 f. Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2021.
89. SOUSA, G., L. de; FERREIRA, V. T. de O.; GUIMARÃES, J. de C. LIXÃO A CÉU ABERTO: IMPLICAÇÕES PARA O MEIO AMBIENTE E PARA A SOCIEDADE. **Revista Valore**, [S.l.], v. 4, p. 367-376, jan. 2020. ISSN 2526-043X. Disponível em: <<https://revistavalore.emnuvens.com.br/valore/article/view/377>>. Acesso em: 22 de maio 2022.
90. SPINOLA, G. M. R.; NASCIMENTO, V. F.; ANDRADE, P. R.; OMETTO, J. P. B. Análise Estatística da Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos com o Índice de Desenvolvimento Humano para os Municípios do Estado de São Paulo. **Geoambiente. On-line**, [S. l.], n. 33, 2019. DOI: 10.5216/revgeoamb.v0i33.53957. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/53957>. Acesso em: 15 fev. 2022.
91. STEHLÍK, P. Efficient waste processing and waste to energy: challenge for the future, Clean Technol. **Environ. Policy**, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10098-008-0185-0>.
92. TEIXEIRA, T. R. M. **Simulação do Processo de Combustão de Gases Provenientes de Aterros Sanitários**. 2004. Dissertação - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-RIO, 2004. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=5370@1>. Acessado em: 01 mar. 2022.

93. TISI, YURI SCHMITKE A. Belchior. **Waste-to-energy: recuperação energética como forma ambientalmente adequada de destinação dos resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro: Synergia, 2019. 217 p., ISBN 978-65-5010-016-2
94. Trilho Ambiental. **Entenda as diferenças entre lixão, aterro controlado e aterro sanitário**. 21 de mai. 2019. Belo Horizonte/MG. Disponível em: <https://www.trilhoambiental.org/post/entenda-as-diferen%C3%A7as-entre-lix%C3%A3o-aterro-controlado-e-aterro-sanit%C3%A1rio>. Acesso em: 15 de jul.2022.