XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente ‘
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos e Análise de seu Potencial Energético em Habitação Multifamiliar

Solid Urban Waste Management and Analysis of its Energy Potencial in Multifamily Housing

Ana Beatriz Almeida da Silva
CESUPA | Belém | Brasil | ana19310206@aluno.cesupa.br
Daniele Aben-Athar Lobato da Silva
CESUPA | Belém | Brasil | daniele19310015@aluno.cesupa.br
Lucas Lemos Marialva
CESUPA | Belém | Brasil | lucas19310020@aluno.cesupa.br
Leonardo Araújo Neves
CESUPA | Belém | Brasil | Leonardo.neves@prof.cesupa.br

Resumo
Um projeto de habitação multifamiliar integrado ao meio urbano de Belém, Pará, foi idealizado a fim de servir como base para estudos diversos, dentre eles tem-se o que tange à produção e destinação dos resíduos sólidos domésticos e urbanos. A partir do projeto habitacional, estimou-se a geração de resíduos a fim de analisar o percentual que poderia ser redirecionado para a coleta seletiva. Então, realizou-se a análise de seu potencial de geração de energia elétrica. Como resultado, o conjunto habitacional geraria 230,02 t/ano, dos quais cerca de 59,6 t/ano poderiam ser redirecionados para coleta seletiva. Além disso, estimou-se que a eletricidade produzida poderia suprir cerca de 10% do consumo de energia do conjunto habitacional.

Palavras-chave: Resíduos sólidos. Coleta seletiva. Energia elétrica.

Abstract
A multifamily housing project integrated into the urban environment of Belém, Pará, was conceived to serve as a basis for several studies, among which there is the production and destination of domestic and urban solid waste. Based on the housing project, the waste generation was estimated in order to analyse the percentage that could be redirected to selective collection. Then, the analysis of its electric energy generation potential was carried out. As a result, the housing complex would generate 230.02 t/year, of which about 59.6

SILVA, A. B. A.; SILVA, D. A. L.; MARIALVA, L.L.; NEVES, L.A. Solid Urban Waste Management and Analysis of its Energy Potential in Multifamily Housing. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**. Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-11.

t/year could be redirected to selective collection. In addition, it was estimated that the electricity produced could supply about 10% of the energy consumption of the housing complex.

Keywords: Solid waste. Selective collect. Electricity.

INTRODUÇÃO

Com mais de 200 milhões de habitantes, o Brasil é um dos países que mais gera resíduos sólidos, cuja destinação final deveria receber tratamento, de acordo com a legislação e as tecnologias atualmente disponíveis, mas acabam, em números significativos, sendo despejados a céu aberto, lançados na rede pública de esgotos ou até queimados – comportamento este que pode desencadear uma série de problemas como contaminação de solos, cursos d'água e lençóis freáticos, além de doenças como dengue, leishmaniose, leptospirose e esquistossomose, entre outras, cujos vetores encontram nos lixões um ambiente propício para sua disseminação, conforme explana o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).

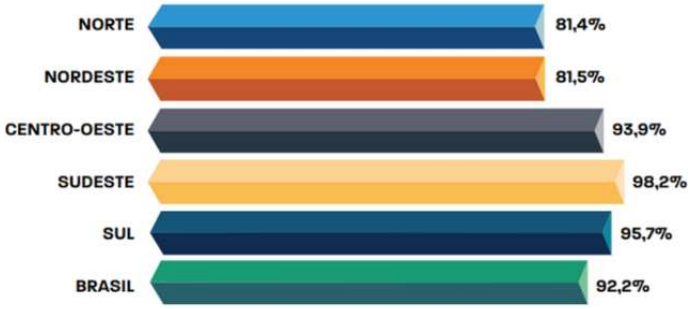
Em seu último panorama, a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) publicou que o Brasil, durante o ano de 2020, gerou um total de resíduos de aproximadamente 82,5 milhões de toneladas, o que significa 225.965 toneladas em um só dia. Isto é, cada brasileiro gerou, em média, 1,07 kg de resíduos por dia. Na Região Norte, a geração de resíduos ficou em torno de 328 kg/hab/ano.

Portanto, em vista do cenário atual explanado acima, o presente trabalho tem por objetivo analisar o potencial de geração de energia elétrica e a consequente diminuição da demanda de energia para a concessionária pública local a partir de uma gestão de resíduos sólidos e urbanos mais adequada à Política Nacional de Resíduos Sólidos e à tendência global.

REFERENCIAL TEÓRICO

Quanto à coleta dos resíduos produzidos, tem-se que a Região Norte é a região onde há a menor porcentagem, o que significa que em torno de 20% dos resíduos gerados não são alcançados pelos serviços de coleta regular nos municípios localizados nessas regiões, conforme imagem abaixo – onde pode-se comparar os índices de coleta de resíduos entre as cinco regiões do país, bem como com a média geral nacional.

Figura 1: Comparativo da coleta de resíduos em diferentes regiões brasileiras

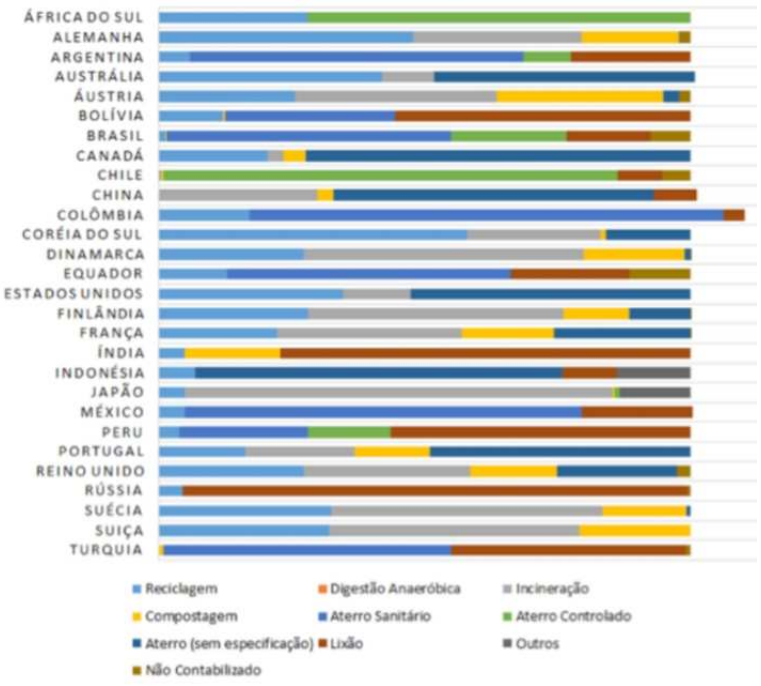


Fonte: Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2021. (Abrelpe).

Embora estejam disponíveis no Brasil, as tecnologias necessárias para o cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) – a qual estabelece diretrizes e metas para o desenvolvimento sustentável do país, incluindo a gestão eficiente dos resíduos sólidos de todas as naturezas -, os custos e a falta de uma maior integração na gestão dos RSU têm sido apontados por especialistas como os motivos para o comportamento supracitado, onde não há coleta de parte dos resíduos e, quando coletados, os RSU são depositados sem controle em locais impróprios para tanto.

De acordo com o relatório *What a Waste* 2.0 do Banco Mundial, há geração de cerca de 2,01 bilhões de toneladas de RSU por toda a população global, e prospecta-se que em 2050 esse número chegará a 3,40 bilhões de toneladas, o que representa um aumento de quase 70%. Para minimizar esse impacto, alguns países buscam usar tecnologia e inovação, tendo o tratamento como prioridade na gestão. Abaixo, tem-se a gestão dos resíduos realizada por cada um dos países selecionados para a pesquisa.

Figura 2: Gestão de resíduos em diferentes países



Fonte: World Bank (2018), What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050.

A partir da problemática acerca dos resíduos sólidos no Brasil e no mundo, é necessário estudar mais a fundo quais são as políticas, normas e legislações que regulamentam o descarte adequado dos mesmos. Nesse sentido, precisa-se inicialmente compreender de que forma ele é classificado. Para isso Brasil, há a norma ABNT NBR 10004 de 2004:

> Resíduos classe II - Não perigosos.
> Resíduos classe II A - Não inertes. Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos classe II B - Inertes, nos termos desta Norma. Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
> Resíduos classe II B - Inertes Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G.

Já a Lei nº 12.305/2010 identifica resíduos sólidos de origem domiciliar, de limpeza urbana, industrial, de serviços de saúde, da construção civil, agrossilvopastoris, de serviços de transportes e de mineração. Eles são enquadrados em duas categorias de periculosidade: (1) não perigosos; e (2) perigosos, que representam risco à saúde pública ou à qualidade ambiental por conta de características como inflamabilidade, corrosividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade.

Ademais, é importante entender os princípios da lei 12.305 de 2010, também conhecida como Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS):

> I - proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;
> II - não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
> III - estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;
> IV - adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;
> V - redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;
> VI - incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;
> VII - gestão integrada de resíduos sólidos;
> VIII - articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos;
> IX - capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos;
> X - regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, com adoção de mecanismos gerenciais e econômicos que assegurem a recuperação dos custos dos serviços prestados, como forma de garantir sua sustentabilidade operacional e financeira, observada a Lei nº 11.445, de 2007;

XI - prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para:
a) produtos reciclados e recicláveis;
b) bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis;
XII - integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
XIII - estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto;
XIV - incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético;
XV - Estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável.

Em relação à quantificação da massa coletada estimada de RDO (resíduo domiciliar) e RPU (resíduo sólido público), o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) em seu Diagnóstico Temático de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, publicou a média de resíduos produzida por habitante, conforme figura abaixo.

Figura 3: Estimativa da geração de resíduos por habitante



Fonte: SNIS

Quanto à coleta seletiva, tem-se que a porcentagem de municípios cobertos na região Norte é ainda menor que na média do Brasil, a qual já é considerada pequena quando comparada à de outros países cujas políticas de gestão de resíduos já estão mais fortemente estabelecidas. No mapa abaixo, é possível visualizar melhor o acesso da população de cada região à coleta seletiva porta a porta, que funciona da seguinte forma, de acordo com o SNIS de 2020:

Os resíduos domiciliares (RDO) secos são previamente separados pelos usuários e dispostos em calçada, testada de terrenos, via pública (em frente ou próximo a domicílios) e pontos de coleta de condomínio multifamiliar (vertical ou horizontal). O recolhimento é feito de forma regular pelo responsável pelo serviço ou contratado.

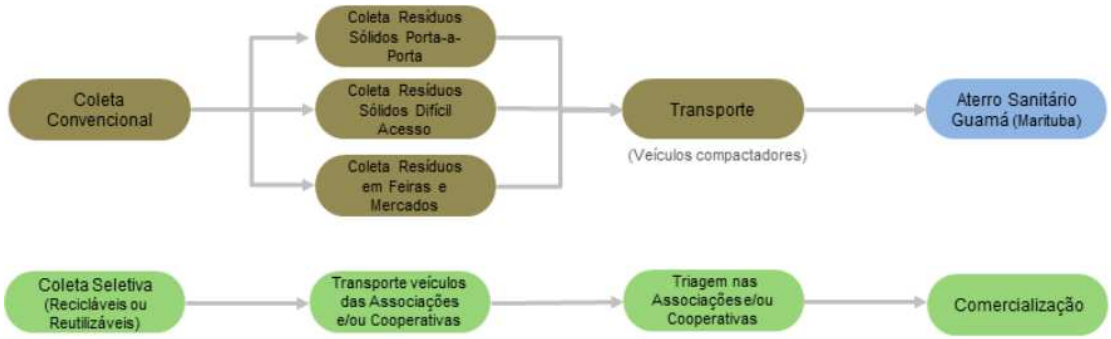
Figura 4: Mapa da população urbana brasileira com acesso à coleta seletiva



Fonte: Relatório Temático de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, SNIS (2020).

Além de focar mais na região Norte, o presente artigo aborda principalmente a cidade de Belém, capital do estado do Pará. Nesse cenário, é necessário abordar o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) do Município de Belém a fim de entender o fluxograma geral de resíduos sólidos da cidade, conforme abaixo:

Figura 5: Fluxograma de resíduos sólidos na cidade de Belém

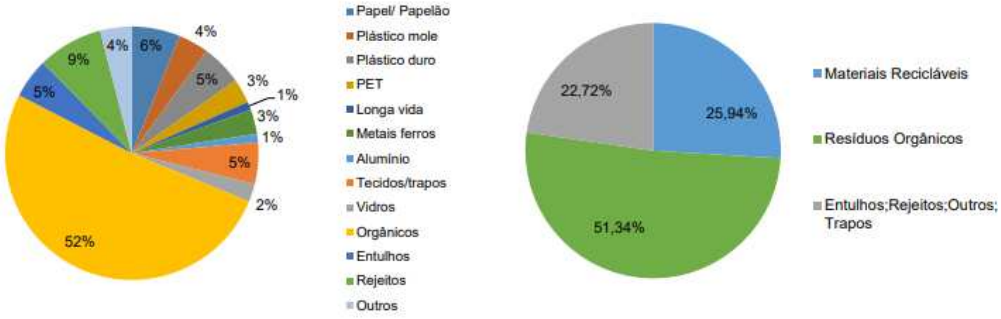


Fonte: Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) do Município de Belém

Além de conhecer o fluxograma dos RSU, para que haja melhor gestão e gerenciamento de resíduos é preciso estimar a quantidade e que tipo de material é

descartado, pois a partir desses dados é possível definir melhor as práticas de gestão dos resíduos e, eventualmente, estimar a energia que poderá ser gerada a partir do potencial energético dos resíduos, além de estimar a quantia de material que poderá ser reciclado (FRICKE et al., 2015). Sendo assim, tem-se abaixo a composição gravimétrica dos resíduos sólidos do Brasil.

Figura 6: Composição gravimétrica de resíduos sólidos



Fonte: Plano Nacional de Resíduos Sólidos de 2022.

METODOLOGIA

A fim de dimensionar apropriadamente os resíduos gerados pela hipotética população que habitará o projeto em questão, foram desenvolvidos os projetos arquitetônico, hidrossanitário, e de esgoto sanitário idealizados para uma habitação multifamiliar e multifuncional com interesse social na orla de Belém do Pará, mais especificamente em frente ao Portal da Amazônia, cujo terreno abrange 13.328,00 m². Nele, foram inseridas 6 torres com 21 apartamentos em cada. O projeto arquitetônico foi desenvolvido pelos autores deste artigo quando eles cursaram o 4° semestre de Engenharia Civil. Já os demais projetos foram desenvolvidos durante o 7° semestre com base no que já havia sido feito anteriormente.

A metodologia utilizada foi, inicialmente, ampla pesquisa bibliográfica a fim de conhecer as principais normativas acerca da gestão de resíduos sólidos domésticos e urbanos, bem como das políticas públicas instituídas local, nacional e internacionalmente.

Em seguida, estimou-se a quantidade de habitantes por torre e, consequentemente, no residencial inteiro a fim de quantificar a geração de resíduos do projeto. Isto feito, foi possível dimensionar e alocar as lixeiras, tanto para coleta seletiva quanto para material orgânico, da melhor forma possível no terreno em questão.

Após este dimensionamento, recorreu-se à composição gravimétrica mencionada anteriormente para quantificar a parcela de resíduos que poderia ser redirecionada para reciclagem e não seria deixada para a coleta de lixo municipal, bem como fez-se pesquisa local para identificar quais seriam as empresas que poderiam realizar o serviço de coleta seletiva.

Por fim, avaliou-se o potencial de geração elétrica através da incineração de resíduos sólidos urbanos, também com base na composição gravimétrica.

A tecnologia de incineração, por requerer insumos com poder calorífico inferior (PCI) de, ao menos, 2.000 kcal/kg (MARTIN, 2008), consome parte dos recicláveis (aqueles com poder calorífico, como papel e plástico) juntamente à fração

orgânica do lixo, para geração elétrica. Para tanto, foi utilizada a fórmula para cálculo do PCI do RSU elaborada por Themelis (2003):

PCI = {18.500[(%FO(1-%H2O)+%P+%Pl)-2.636(%H2O)(%FO)-628(%V)-544(%M)]}/4,18 Onde:

%FO = participação da fração orgânica
%H2O = teor de umidade
%P = participação de papel
%Pl = participação de plástico
%V = participação de vidro
%M = participação de metal

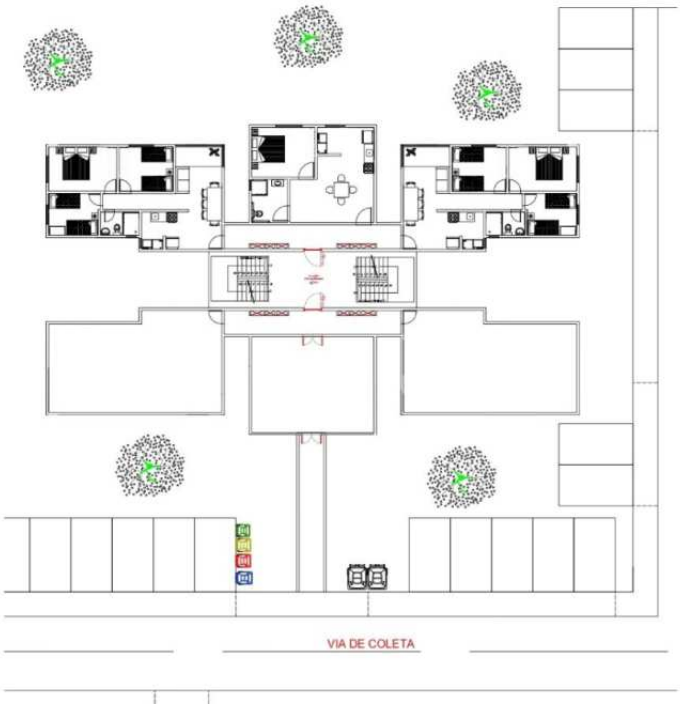
RESULTADOS

O primeiro passo - dimensionar a geração de resíduos - teve os seguintes resultados estimado, de acordo com os dados supramencionados do SNIS:

- Número de habitantes por bloco: 104 PESSOAS
- Número de habitantes totais (6 blocos): 624 PESSOAS
- Média de coleta estimada de resíduos sólidos por bloco: 105,04 KG/DIA = 38,47 t/ano
- Média de coleta estimada de resíduos sólidos totais: 630,24 KG/DIA = 230,02 t/ano

A partir disso, foram alocados os reservatórios de resíduos sólidos perto de cada um dos edifícios, conforme imagem abaixo:

Figura 7: Localização dos reservatórios em cada edifício



Fonte: os autores

Em seguida, considerou-se a composição gravimétrica para obter os resultados em relação à quantidade de resíduos de cada tipo gerados em um ano, conforme a tabela a seguir:

Tabela 1: Quantidade de resíduos estimada no complexo habitacional

Tipo	% Gravimétrica	Quantidade gerada (kg/ano)
Orgânicos	52%	119619,55
Papel/papelão	6%	13802,26
Entulhos	5%	11501,88
Metais	3%	6901,13
Alumínio	1%	2300,38
Rejeitos	9%	20703,38
PET	3%	6901,13
Longa vida	1%	2300,38
Tecidos/trapos	5%	11501,88
Plástico mole	4%	9201,50
Plástico duro	5%	11501,88
Vidros	2%	4600,75
Outros	4%	9201,50

Fonte: os autores

Desses, 25,94% são considerados recicláveis. Portanto, tem-se que:

- Média de coleta estimada de resíduos sólidos totais: 630,24 Kg/dia
- Material reciclável (25,94%): 163,48 Kg/dia, consequentemente, 59.670,20kg/ano.

Quanto ao levantamento de empresas/associações que poderiam realizar a coleta seletiva no município de Belém, foram obtidos os seguintes dados:

1. Cooperativa dos Catadores de Materiais Recicláveis - CONCAVES;
2. Associação de Catadores da Coleta Seletiva de Belém - ACCSB;
3. Cooperativa de Catadores de Materiais Recicláveis “Filhos do Sol”;
4. Cooperativa dos Amigos Lix - COOPALIX (Aurá).

Na última etapa do estudo realizado, fez-se o cálculo estimativo do potencial de geração de energia elétrica a partir dos resíduos gerados pelo complexo habitacional em questão por meio da fórmula já mencionada anteriormente, considerando o teor de umidade igual a 46%, de acordo com a média obtida por Moreira et al (2016) e utilizando 20% de eficiência, conforme estabelece a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e obteve-se o resultado equivalente a 0,0349 MWh/t. Tendo em vista que são produzidos 230,02 t/ano de resíduos, ao final de um ano seriam gerados aproximadamente 8,28 MWh.

De acordo com Fedrigo et al (2022), o consumo de energia de uma residência brasileira é, em média, 52,2 KWh por mês. Aplicando este valor para o condomínio estudado, tem-se o consumo aproximado de 78,93 MWh por ano. Logo, a geração de energia elétrica poderia suprir cerca de 10% do consumo energético do conjunto habitacional projetado.

CONCLUSÃO

O presente trabalho que ora se encerra teve como objetivo apresentar opções para uma gestão de resíduos sólidos e urbanos de um projeto fictício, embora verossímil, de habitação multifamiliar com interesse social, bem como analisar o potencial de geração de energia elétrica a partir dos resíduos gerados.

Os resultados obtidos foram importantes para refletir-se a respeito da destinação de todos os resíduos que são produzidos diariamente, uma vez que, no Brasil, ainda há considerável parcela que nem sequer é recolhida e, quando recolhida, a maioria não é tratada, apenas encaminhada para aterros sanitários ou pior, lixões a céu aberto.

Além disso, o artigo apresentou inicialmente um panorama global quanto à gestão que outros países já estão fazendo. Quanto a isso, é mister que haja reavaliação do comportamento brasileiro a fim de redirecionar a atual situação do Brasil em relação à geração e à destinação de todos os resíduos gerados em território nacional.

REFERÊNCIAS

[1] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004

[2] Abrelpe - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo, 2021.

[3] BRASIL. Casa Civil. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF, 2010.

[4] CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° 307 de 05/07/2002.

[5] BRASIL. EPE. Nota Técnica DEA nº 18 de outubro de 2014. Apresenta o Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos.

[6] CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° 448 de 18/01/2012.

[7] FEDRIGO, N.S. et al. “Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro”. Santa Catarina, 2022.

[8] INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>. Acesso em: 20/05/2022

[9] MOREIRA, F.A., et al. Caracterização Físico-Química dos Resíduos Sólidos Gerados em Uma Instituição de Ensino Superior de Sete Lagoas - MG. Minas Gerais, 2016.

[10] PORTAL G1. Descarte e Coleta de Lixo são Responsabilidade das Prefeituras – Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/santos-regiao/eleicoes/2012/noticia/2012/08/descarte-e-coleta-de-lixo-sao-responsabilidade-das-prefeituras.html> Acesso em: 20 de março de 2022.

[11] SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS. Painel de Informações - Disponível em: <http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-residuos-solidos>. Acesso em: 19 de março de 2022.

[12] SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS. Diagnóstico Temático: Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos. Brasília, 2021.