

ANÁLISE DE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL

ANALYSIS OF TREATMENT TECHNOLOGIES AND FINAL DISPOSAL OF URBAN SOLID WASTE IN BRAZIL

BAPTISTA, Meysi¹
CARVALHO, Rafael Vieira de²
FAGUNDES, Pedro Henrique Pires da Rocha Machado³
NÓBREGA, Marcelo de Jesus Rodrigues da⁴

Resumo: A constante degradação do meio ambiente frente o mundo moderno e globalizado faz com que medidas de remediação sejam buscadas pelos governantes como forma de combater um futuro incerto para as gerações futuras. O crescimento desordenado das cidades a partir do século XX e o conseqüente aumento da geração de resíduos pela população acarreta uma preocupação em relação a sua forma de descarte. O presente estudo trata-se de uma pesquisa bibliográfica que visa aduzir soluções ambientais e econômicas por meio do aproveitamento de resíduos sólidos urbanos, responsáveis por uma parcela significativa dos danos causados ao meio ambiente. Estes resíduos, quando tratados de maneira correta, contribuem não apenas para a geração de energia renovável, como também no seu reaproveitamento em produtos que possam agregar valor em outros segmentos. Dessa forma, a importância das tecnologias de tratamento de resíduos sólidos urbanos se mostra essencial para o desenvolvimento social e econômico do país. Além disso, será apresentado um estudo de caso sobre o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil, comparando sua geração com um indicador econômico e analisando suas formas de disposição final, evidenciando dificuldades para implantação efetiva da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos, Tecnologias de Tratamento, Meio Ambiente, Aterros Sanitários.

Abstract: The constant degradation of the environment in the face of the modern and globalized world causes remediation measures to be sought by the rulers as a way to combat an uncertain future for future generations. The disorderly growth of cities since the twentieth century, and the consequent increase in the generation of waste by the population, raises a concern about its form of disposal. The present study is a research that seeks to add environmental and economic solutions through the use of urban solid waste, which is responsible for a significant portion of the damages caused to the environment. These wastes, when properly treated, contribute not only to the generation of renewable energy, but also to its reuse in products that can add value in other segments. In this way, the importance of urban solid waste treatment technologies is essential for the social and economic development of the country. In addition, a study will be presented related to the management of urban solid waste in Brazil, comparing its generation with economic data and analyzing its forms of final disposal, highlighting difficulties for the effective implementation of the National Solid Waste Policy.

Keywords: Urban Solid Waste, Treatment Technologies, Environment, Landfill.

¹ Mestranda Engenharia Urbana e Ambiental - PUC-Rio / *Technische Universität Braunschweig* - meysibaptista@hotmail.com.

² Mestrando Engenharia Urbana e Ambiental PUC-Rio / *Technische Universität Braunschweig* - rafael.vcarvalho@outlook.com.br

³ Mestrando Engenharia Urbana e Ambiental PUC-Rio / *Technische Universität Braunschweig* - phf_93@hotmail.com

⁴ Pós-Doutor Engenharia – UERJ / Universidade Santa Úrsula - engmarcelocefet@terra.com.br

1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é um assunto central nas discussões sobre o impacto do desenvolvimento da sociedade e, a partir da década de 1970, se tornou um assunto recorrente na pauta mundial. Em meados da década de 1980, com a conferência de Brundtland e o surgimento do termo “desenvolvimento sustentável”, que defende o suprimento das necessidades do presente sem comprometer as gerações futuras, várias conferências foram realizadas a fim de discutir o futuro do planeta (BRUNDLAND, 1991).

O constante aumento do aquecimento global causado por ações antropogênicas é uma realidade que preocupa, não apenas pelos nocivos danos ao meio ambiente e à qualidade de vida dos seres humanos, mas também pela preservação das gerações futuras. A fim de evitar danos desmedidos à existência dos seres humanos, estudos recentes realizados pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2018) examinam a necessidade de limitar o aquecimento a 1,5°C ao invés de 2°C, conforme era previsto anteriormente pelo Acordo Climático de Paris, firmado em 2015.

Nesse contexto, o crescente aumento da população mundial e o acelerado processo de urbanização das cidades vêm resultando na geração de desmedidos volumes de resíduos sólidos urbanos, os quais, se mal gerenciados, contribuem não apenas para o aumento dos danos causados ao meio ambiente como também infligem diversas problemáticas no quesito social e econômico da sociedade moderna.

No Brasil, “a destinação final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) ainda se resume, em quase todo o território brasileiro, no aterramento dos materiais sem qualquer processamento prévio” (SNIS, 2018, *apud* PRATES *et al.*, 2019). Segundo os autores, esta destinação vai de conflito com o previsto pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecida pela Lei nº 12.305/2010, que traz como diretriz a necessidade de dar tratamento específico aos diferentes resíduos gerados pela sociedade.

a. Definição de Resíduos Sólidos

De acordo com Seibert (2014), até meados da década de 1970, os resíduos sólidos foram generalizados como lixo, ou seja, sem qualquer valor econômico. A busca por soluções na área de resíduos reflete a demanda da sociedade que pressiona por mudanças motivadas pelos elevados custos socioeconômicos e ambientais. Se manejados adequadamente, os resíduos sólidos adquirem valor comercial e podem ser utilizados em forma de novas matérias-primas ou novos insumos. Dessa forma, muitos pesquisadores da área consideram o termo “lixo” inapropriado na atualidade, visto que seu aspecto econômico não era considerado. Sendo assim, o termo “resíduo” é o mais utilizado na comunidade científica. Segundo a Norma ABNT NBR 10004:2004, resíduos sólidos são:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. (Norma ABNT NBR 10004:2004).

Ainda segundo a Norma, tais resíduos são classificados de acordo com a sua periculosidade, levando em conta características físico-químicas (inflamabilidade, explosibilidade, reatividade) e/ou infectocontagiosas (toxicidade, patogenicidade) que possam provocar riscos à saúde pública e ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada. Dessa forma alguns exemplos de resíduos sólidos são: material de bota-fora, lixo urbano, entulhos e sucatas, lamas, lodos, cinzas/escórias, entre outros.

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são resultantes de atividades humanas, podendo ser de origem doméstica, comercial, industrial, hospitalar e de construções civis. Sua composição depende muito do local em que é encontrado, uma vez que varia de acordo com a situação socioeconômica e hábitos de vida de cada indivíduo.

De acordo com o artigo 13, inciso I, alíneas “a” e “b”, da Lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), resíduos sólidos urbanos (RSU) são os materiais advindos de atividades domésticas em residências do perímetro urbano e os restos da limpeza de vias públicas, de outros serviços de limpeza urbana e da varrição. (COLVERO *et al.*, 2017).

b. A Política Pública Brasileira em Relação aos Resíduos Sólidos

O agravamento da problemática dos resíduos faz com que, cada vez mais, os governos se preocupem com a preparação das empresas e da população para atuarem em face dessa realidade. No âmbito federal, no que diz respeito ao tratamento dos RSU, a política pública nacional apresenta três polos principais: Lei de Consórcios Públicos (PCP), a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Sendo a última delas a mais importante e abrangente, merecendo destaque especial.

Em 02 de agosto de 2010, foi aprovada pelo Congresso Nacional a PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), a mais completa tentativa de cercar, ao máximo, e modificar o cenário futuro vislumbrado (BRASIL, 2010).

Salienta-se ainda que esta Lei Federal deva ser exercida por toda a sociedade, e que o Governo do Distrito Federal está se adequando a essa normatização que, a partir de agosto de 2014, será dada por obrigatória nas seguintes objeções aos resíduos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. E dentro desse escopo normativo, são definidas as diferenças conceituais de resíduos, que devem ser reaproveitados e reciclados, e de rejeitos, que devem ter sua disposição final (GUEDES e FERNANDES, 2013).

De acordo com Prates *et al.* (2019), mesmo com a vigência da PNRS no Brasil desde 2010, grande parte dos resíduos ainda são dispostos em aterros, sem qualquer processamento prévio. Alternativas ao não aterramento de resíduos tendem a gerar maiores benefícios a longo prazo, como a garantia de recuperação de materiais recicláveis, diminuindo o passivo ambiental gerado pelo mau gerenciamento dos resíduos. As tecnologias de tratamento de resíduos, que serão discutidas nas seções seguintes, vêm então como uma solução de remediação a esses danos, aplicadas visando o aproveitamento máximo do potencial dos resíduos em gerar energia renovável, como o biogás.

A PNRS busca “criar metas importantes que irão contribuir para a eliminação dos lixões e institui instrumentos de planejamento nos níveis nacional, estadual, microrregional, intermunicipal e metropolitano e municipal” (Ministério do Meio Ambiente, 2019). Além disso, impõe que os particulares elaborem seus Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

É fato que, devido à grande extensão territorial e a imensa quantidade de entes federativos, uma política de abrangência nacional, por si só, não resolveria a problemática dos RSU, devendo ser paralelamente acompanhada por iniciativas estaduais e municipais onde, estes, busquem implementar políticas em prol de seus benefícios socioambientais e econômicos. Assim vem sendo feito.

Como exemplo disso podemos citar o Decreto n.º 31.416, de 30 de novembro de 2009 da cidade do Rio de Janeiro, que ordena em seu art. 2:

A política de destinação e tratamento adequado dos resíduos terá entre seus objetivos:

I - reduzir as emissões de gases de efeito estufa provenientes da gestão de resíduos na Cidade do Rio de Janeiro;

II - gerar receitas e benefícios econômicos, inclusive com exploração de créditos de carbono;

III - garantir a adequada disposição final dos resíduos mediante utilização de técnicas ambientalmente sustentáveis e propiciadoras do aproveitamento de energia;

IV - incentivar a redução, reutilização e a reciclagem dos resíduos.

2. PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO

As tecnologias de tratamento surgiram com o intuito de promover a diminuição do impacto negativo no meio ambiente e para a saúde humana, causados pela má disposição dos RSU, além de, em alguns casos, gerar um retorno financeiro para as organizações que as promovem.

Diversos são os tipos de tecnologia no mercado, não existindo uma mais eficiente. É necessária que haja uma avaliação por meio de critérios técnicos, econômicos e socioambientais da área de aplicação, para que se possa definir a técnica mais adequada a ser implementada.

Algumas das principais tecnologias serão apresentadas adiante, sendo estas de caráter físico (triagem e reciclagem), biológico (tratamentos biológicos), físico-químico (incineração e combustíveis derivados de resíduos) e físico-químico-biológico (aterros sanitários).

a. Triagem e Reciclagem

De acordo com Prates *et al.* (2019), tendo em vista que o aterro sanitário se trata de uma unidade de disposição final que, segundo a PNRS, deveria receber apenas rejeitos, não devendo ser considerado como uma alternativa tecnológica para tratamento dos resíduos sólidos urbanos. Cada fração de RSU (orgânica, reciclável e rejeito) deve receber seu tratamento adequado, dessa forma, é recomendado que haja uma triagem preliminar dos materiais independente da alternativa adotada para tratamento/disposição. É importante ressaltar também que o nível tecnológico nesta etapa depende diretamente do grau de pureza exigido pela tecnologia subsequente, além dos aspectos financeiros locais e econômicos.

b. Tratamentos Biológicos

São tratamentos oriundos da decomposição de matéria orgânica por meio de ações de agentes biológicos, como por exemplo bactérias e protozoários, podendo ocorrer de forma aeróbica ou anaeróbia.

1.1.1. Compostagem de Resíduos Orgânicos

A compostagem é um processo biológico, o qual promove a decomposição aeróbia da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos, ou seja, com a presença de oxigênio. Para a compostagem ser efetiva, são necessárias condições adequadas de temperatura, umidade e pressão, resultando em um produto denominado composto, o que pode ser posteriormente aproveitado, principalmente, como adubo (PRATES *et al.*, 2019).

Com o propósito de estabelecer critérios e procedimentos que garantam a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) criou a resolução nº 481, de 03 de outubro de 2017.

O sistema de compostagem é uma das tecnologias de tratamento mais simples, com baixo teor de implantação e operação se comparada aos outros tratamentos. Além disso, o tratamento por compostagem se mostra também eficiente na diminuição de massa e na carga orgânica dos resíduos. “A compostagem é uma alternativa viável e de baixo custo e quando os resíduos sólidos são submetidos ao processo de compostagem ocorre a eliminação de patógenos sendo uma alternativa sanitariamente eficiente” (COSTA *et al.*, 2009, *apud* SANTOS *et al.*, 2014).

“As usinas de compostagem apresentam estruturas com instalações para recepção de resíduos, esteira de triagem para a separação de materiais recicláveis e orgânicos, equipamentos como peneiras ou trituradores, pátio de compostagem e área de refino e armazenamento do composto” (PRATES *et al.*, 2019). Segundo Santos *et al.* (2014), o composto orgânico se trata de um excelente condicionador para o solo, proporcionando melhorias em suas propriedades físicas, aumentando sua capacidade de retenção de água e a macroporosidade. Além disso, pode melhorar as propriedades físico-químicas, aumentando a disponibilidade de macro e micronutrientes no solo, além de estimular a proliferação de microrganismos benéficos.

O processo de compostagem pode ser natural ou acelerado, dependendo do tipo de aeração do sistema, sendo o acelerado resultante de uma aeração forçada, imposta por meio de turbilhões que injetam ar no interior das pilhas. O processo completo de decomposição dura cerca de 3 a 4 meses se natural e 2 a 3 meses se acelerado. A qualidade do composto gerado depende dos resíduos utilizados e da eficiência do processo. Mesmo que o composto não tenha qualidade adequada para sua aplicação no solo, esse produto pode ser utilizado como material de cobertura em aterros e até mesmo, ser direcionado como insumo energético a outros sistemas de tratamento (PRATES *et al.*, 2019).

3. Digestão Anaeróbia

Assim como a compostagem, a digestão anaeróbia também se trata de uma decomposição biológica da matéria orgânica, no entanto, sem a presença de oxigênio e havendo assim a formação

de biogás e composto orgânico estabilizado (PRATES *et al.* 2019). O biogás, por sua vez, é formado em grande parte por metano e dióxido de carbono, além de pequenas quantidades de outros gases, o que confere ao biogás alto poder calorífico e potencial de geração de energia. “Muitos fatores influenciam diretamente a quantidade e a qualidade do biogás formado, podendo-se destacar o substrato utilizado, as condições do meio e a atividade microbológica (CESARO *et al.*, 2015).

A digestão anaeróbia é principalmente influenciada por fatores como temperatura, pH, disponibilidade de nutrientes (relação Carbono/Nitrogênio), tempo de retenção e presença de substâncias tóxicas, assim como a quantidade de matéria orgânica a ser digerida.

Os sistemas de digestão anaeróbia podem se diferenciar nos aspectos de porcentagem de sólidos secos no sistema – digestão seca (25 a 45% sólidos secos) e digestão úmida (4 a 15% sólidos secos); reator contínuo ou em batelada; temperatura da reação; número de estágios de reações; fluxo completo ou parcial. Desta forma, diversas são as tecnologias e sistemas existentes no mercado para a realização da digestão anaeróbia. É possível dar diferentes usos ao biogás gerado nesse processo, dependendo do mercado local e regional. No caso da purificação do biogás ainda há a possibilidade de utilizá-lo como combustível veicular ou injeção na rede de gás natural. (PRATES *et al.*, 2019).

a. Incineração com Aproveitamento Energético

Apesar de não ser utilizada de forma adequada e em escala relevante no Brasil, a incineração consiste em um dos mais antigos métodos de tratamento de RSU. Seu principal objetivo é a redução no volume de resíduos, a serem posteriormente dispostos em aterros sanitários, com utilização concomitante da energia produzida, tanto térmica quanto elétrica. A incineração é indicada para o tratamento de quantidades médias de resíduos sólidos (mais de 160.000 t/ano ou 240 t/dia), sempre se trabalhando com linhas médias de produção de 8 a 10 t/h.

O processo consiste na recuperação do poder calorífico dos resíduos mediante um processo de tratamento térmico controlado, transformando-os em energia. No processo, ocorre a queima dos resíduos em uma câmara primária. Evita-se a volatilização dos metais e a formação de óxidos nitrosos a partir de uma alimentação de oxigênio controlada. O gás gerado na câmara primária é transferido para uma câmara secundária, onde é queimado a uma temperatura mais elevada, havendo a combustão completa. Os gases finais, após a combustão secundária, são resfriados com aproveitamento do calor e, em seguida, tratados. A parte sólida restante após o processo de incineração varia de 4 a 10% em volume do material original, sendo esterilizado e inertizado (CASTRO, 2015, *apud* PRATES *et al.*, 2019).

b. Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR)

Processo decorrente da trituração de RSU considerados de grande potencial energético (normalmente 18 megajoules por quilograma). A quantidade de rejeitos gerada por este tratamento, cerca de 20% a 80%, varia de acordo com a qualidade do resíduo e do tipo de coleta e separação dos mesmos.

Segundo pesquisa científica (BNDES FEP N° 02/2010), realizada pela Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco, o mais importante para a produção de CDR é a recuperação de energia e a otimização da logística (transporte e armazenamento) dos resíduos. Devendo o mesmo, ser ausente de frações de contaminação crítica, como por exemplo metais pesados, e de substâncias orgânicas críticas (substâncias halogenadas, medicamentos ou resíduos infectados, entre outros), sendo composto basicamente de material orgânico com baixa umidade, para que seja obtido um CDR de boa qualidade.

c. Aterros Sanitários

Aterros Sanitários são locais criados para a disposição final dos resíduos sólidos de maneira correta através de técnicas de engenharia capazes, não somente, de evitar a infiltração do chorume no lençol freático, mas também diversos danos ambientais causados por disposição imprópria dos mesmos.

O aterro sanitário é um dos locais adequados em termos técnicos e de infraestrutura para receber os RSU gerados pela população de um município, e tem como objetivo, reduzir ao máximo os impactos ambientais que este lixo causaria se fosse despejado em local inapropriado. A norma - NBR 8.419/92 conceitua aterro sanitário como uma forma de dispor os RSU no solo, de modo a minimizar os impactos ambientais, de forma a preservar a saúde pública e a segurança da sociedade. E para garantir a proteção do meio ambiente, são utilizados princípios de engenharia que possibilitam o confinamento dos resíduos sólidos na menor área possível e minimizando o volume destes resíduos, que serão cobertos com camadas de terra ao final de cada dia de trabalho (COLVERO *et al.*, 2017).

Devido a isso, são considerados também como uma tecnologia de tratamento de resíduos, por serem ambientes que agem de forma eficaz e ambientalmente correta, considerando que os processos ocorrentes nele (físicos, químicos e microbiológicos) ocorrem de forma estável (Figura 1).

Figura 1: Configuração de um aterro sanitário.



Fonte: BNDES, 2014

O aterro sanitário, no entanto, necessita de uma correta manutenção pois “se não for bem operado, um aterro sanitário pode ocasionar alguns problemas ambientais, onde se destaca a poluição dos recursos hídricos superficiais ou subterrâneos” (COLVERO *et al.*, 2017). Além disso, pode haver carreamento de resíduos do aterro para locais de águas superficiais, como rios e lagos; transferência de gases gerados pela decomposição dos resíduos e que são solúveis na água. Isso se mostra preocupante principalmente para as residências que se situam próximas ao aterro e não possuem água encanada, já que nesse cenário as famílias obtêm água para consumo através da perfuração de poços artesianos.

Alguns aterros já vêm estabelecendo o processo de transformação do resíduo em energia, como é o caso do o aterro sanitário de cascavel, no Paraná. De acordo com artigo publicado pela editora Massa News (2017), este obteve resultados significativos, acarretando menos impacto nas contas da prefeitura:

O projeto foi implantado em dezembro do ano passado e desde o mês de janeiro apresenta bons resultados. “Conseguimos gerar 130 KW/hora de energia e isso representa uma economia de R\$ 52 por hora”, explica o engenheiro da secretaria de Meio Ambiente, Elmo Rowe Junior. Além de garantir a energia necessária no aterro, o processo ameniza a tarifa em 16 departamentos públicos e gera uma economia em torno de R\$ 28 mil. “Somente na conta de luz da Praça da Bíblia foi possível obter um desconto de aproximadamente R\$ 7 mil”, ressalta o engenheiro. (MASSANEWS, 2017)

No entanto, medidas políticas vêm sendo adotadas, por meio de planos Nacionais, Estaduais ou até mesmo municipais, para que os aterros sirvam apenas como destinação final para rejeitos, ou seja, resíduos que tiveram esgotadas suas possibilidades de reciclagem, recuperação e tratamento.

4. ANÁLISE DA DISPOSIÇÃO E GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL

Devido a sua grande extensão territorial e quantidade de habitantes (mais de 200 milhões segundo projeções do IBGE) o Brasil posiciona-se como um dos maiores produtores de Resíduos Sólidos Urbanos do mundo.

Segundo a ABRELPE (2017), em seu “Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2017”, no ano de 2017 a geração de RSU atingiu a marca de 214.868 toneladas/dia, um aumento de 1% se comparado ao ano anterior. Ao tomarmos um período de 10 anos (entre 2008 e 2017) esse aumento percentual é de 27,4% total.

a. A Influência do Produto Interno Bruto (PIB) na Geração de Resíduos

Para maior compreensão do volume de resíduos gerados anualmente é interessante analisar a influência da atividade econômica (representada pela variação do Produto Interno Bruto). É intuitivo deduzir que, com todos os setores de uma economia aquecidos (primário - agricultura, mineração, pesca, pecuária / secundário – indústria / terciário – serviços), haja maior incentivo ao consumo, à produção industrial e agrícola e, conseqüentemente, maior geração de resíduos sólidos urbanos. Logicamente essa relação não é direta e imediata e, muitas vezes, pode ser mitigada por outros fatores como, por exemplo, o aumento populacional e o gerenciamento dos resíduos (através de normas, operações, planejamento e investimentos financeiros) por parte de órgãos governamentais.

De acordo com as tabelas 1 e 2, ilustradas a seguir, é possível observar que de 2007 a 2014, o aumento anual do PIB foi acompanhado pelo aumento na geração de resíduos sólidos, com exceção ao ano de 2009, o qual o PIB apresentou leve queda enquanto a geração de RSU cresceu. A partir de 2015, com o agravamento da crise político-financeira nacional, fica evidente uma reversão na tendência de alta do PIB (queda de 3,55% no ano citado), apesar de, neste ano, a geração de RSU ainda ter aumentado. Em 2016, com a continuidade da desaceleração econômica, é possível observar o impacto na geração de RSU, queda de 2,80%, o que representou, no ano, menos 6.121 toneladas. A variação acumulada (no período de 10 anos), dos dois indicadores, pode ser acompanhada na Figura 2.

Tabela 1 – Geração de RSU no Brasil

Geração de RSU no Brasil			
Ano	t/dia	Variação de RSU anual	Variação de RSU no período analisado
2007	168.653	-	-
2008	169.659	0,60%	0,60%
2009	182.728	7,70%	8,35%
2010	195.090	6,77%	15,68%
2011	198.514	1,76%	17,71%
2012	201.058	1,28%	19,21%
2013	209.280	4,09%	24,09%
2014	215.297	2,88%	27,66%
2015	218.874	1,66%	29,78%
2016	212.753	-2,80%	26,15%
2017	214.868	0,99%	27,40%

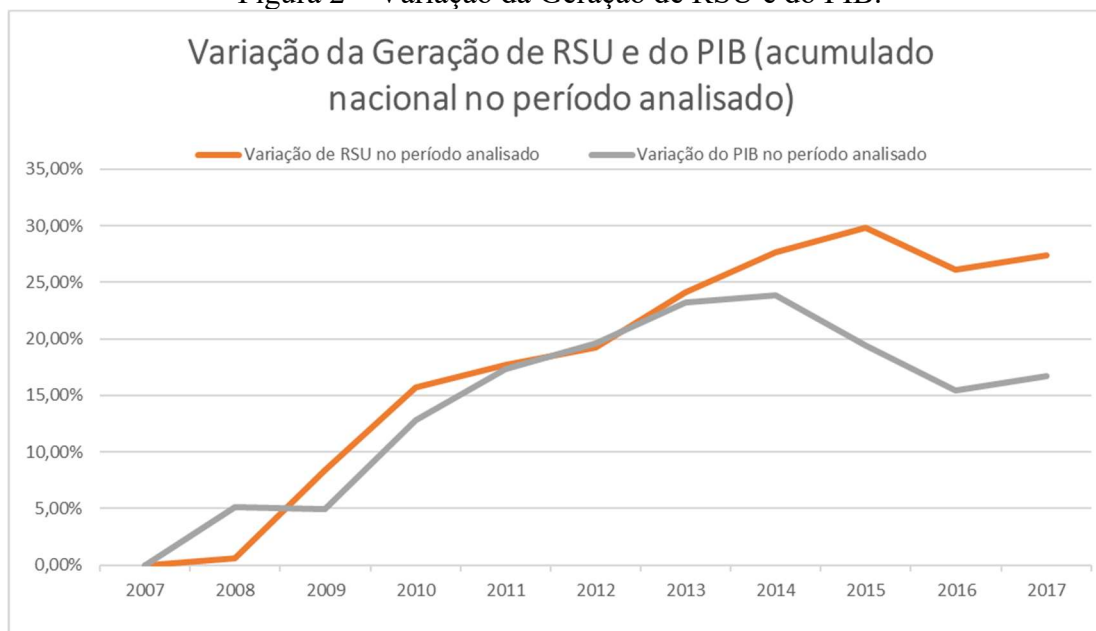
Fonte: ABRELPE (2017)

Tabela 2 – PIB Brasileiro

Produto Interno Bruto (PIB) no Brasil			
Ano	Produto Interno Bruto (PIB) (Trilhões de Reais)	Variação anual do PIB	Variação do PIB no período analisado
2007	5,79	-	-
2008	6,08	5,09%	5,09%
2009	6,07	-0,13%	4,96%
2010	6,53	7,53%	12,86%
2011	6,79	3,97%	17,35%
2012	6,92	1,92%	19,60%
2013	7,13	3,00%	23,20%
2014	7,16	0,50%	23,82%
2015	6,91	-3,55%	19,43%
2016	6,68	-3,31%	15,48%
2017	6,75	1,06%	16,71%

Fonte: Banco Central do Brasil (2019).

Figura 2 – Variação da Geração de RSU e do PIB.

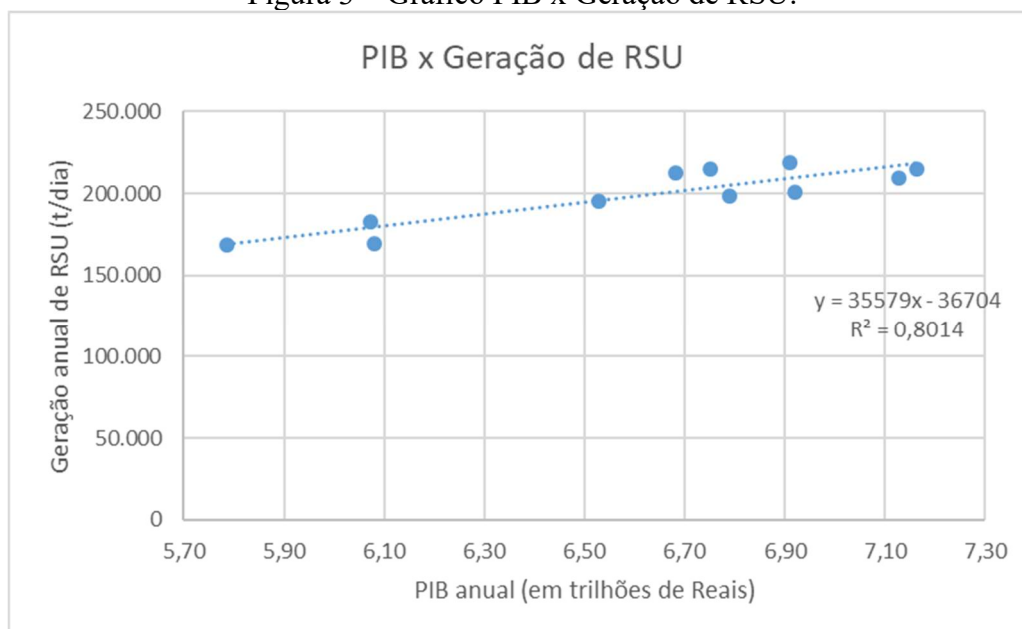


Fonte: ABRELPE (2017)

Além disso, também foi elaborado o gráfico “PIB x Geração de RSU” (Figura 3) para o período, com a finalidade de se encontrar mais relações com a geração de resíduos no país, a partir

de dados obtidos no IBGE e ABRELPE 2017. Pode-se perceber, então, uma boa aproximação linear (coeficiente de correlação de Pearson (R^2) de 0,80) entre os indicadores analisados, podendo ser considerada uma correlação forte.

Figura 3 – Gráfico PIB x Geração de RSU.



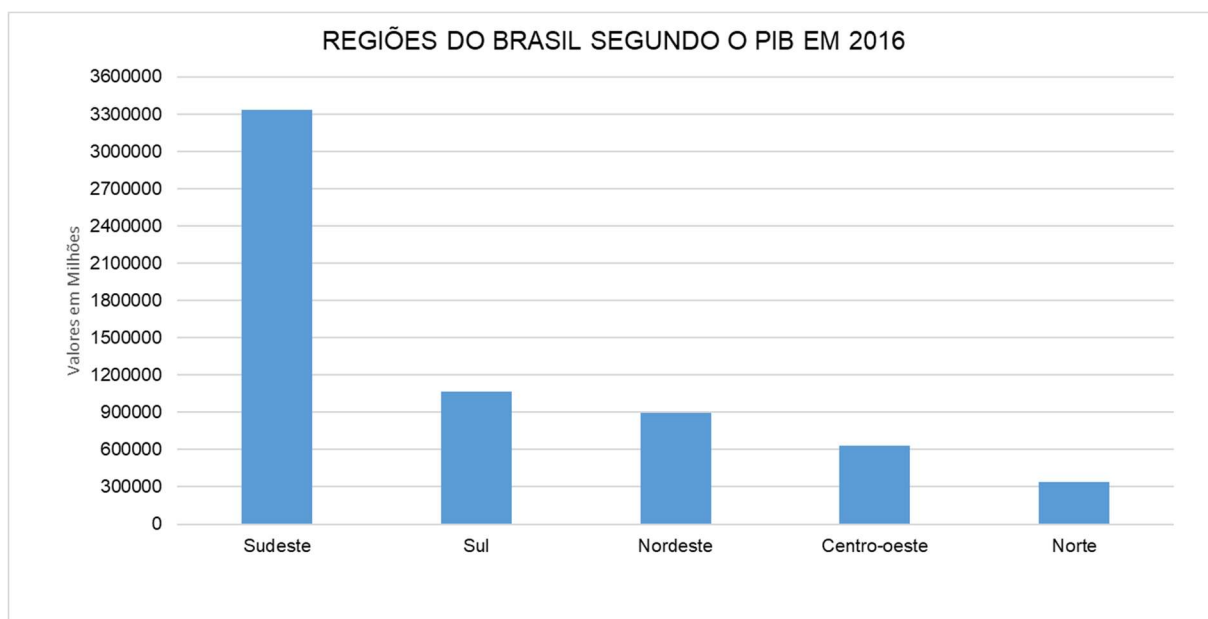
Fonte: Autores.

Tomando por base o ano de 2016, ano de forte retração do PIB e de crise econômica nacional, a nível regional verifica-se que a região Sudeste obteve um PIB anual de aproximadamente 3,3 trilhões de reais, sendo ao mesmo tempo a região que mais gerou resíduos sólidos no Brasil.

Neste seguimento, conclui-se que quanto maior o acesso à renda da população, mais elevado fica o consumo por parte da mesma, acarretando no aumento de RSU gerados.

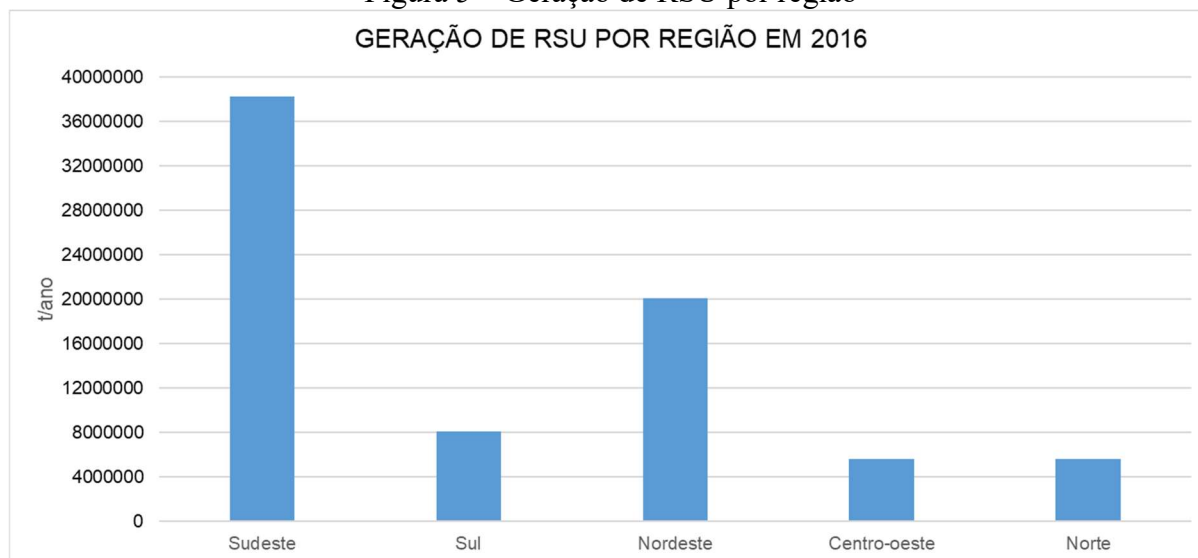
Entretanto, conforme pode ser observado nas Figuras 4 e 5, a região Sul apresentou uma quantidade menor de geração de resíduos em relação a região Nordeste mesmo obtendo um PIB maior, o que ratifica a ideia de que a geração de RSU não se limita apenas ao PIB, mas também ao gerenciamento dos mesmos por parte de órgãos governamentais, gerenciamento este que ocorre por meio de normas, operações, planejamento e investimentos financeiros, onde a região Sul vem se destacando através de avanços no sistema de coleta seletiva e destinação adequada quando comparada a nível Brasil. Outro fator de influência é a quantidade de habitantes na região Nordeste, a qual é consideravelmente maior do que a região Sul e, devido a isso, também deve ser levada em consideração com relação à geração de resíduos quando comparados.

Figura 4: PIB por região Brasileira.



Fonte: Adaptado de IBGE, 2016

Figura 5 – Geração de RSU por região

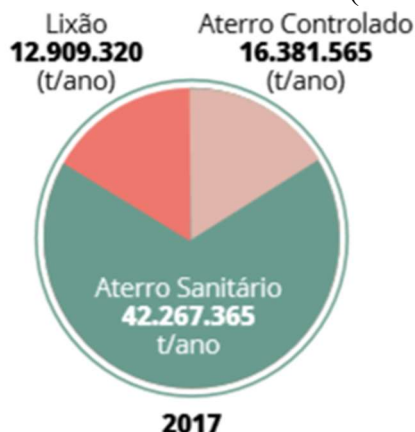


Fonte: Adaptado de ABRELPE, 2016

b. Aspectos Técnicos e Ambientais quanto à disposição final dos RSU

O Brasil apresenta tecnologias de tratamento ainda muito incipientes, tendo praticamente em sua totalidade a disposição de RSU de três maneiras: lixão, aterro controlado e aterro sanitário, sendo evidente a destinação de resíduos para aterros sanitários como sua principal solução de gerenciamento (Figura 6).

Figura 6 – Disposição final dos RSU no Brasil (t/ano) no ano de 2017.

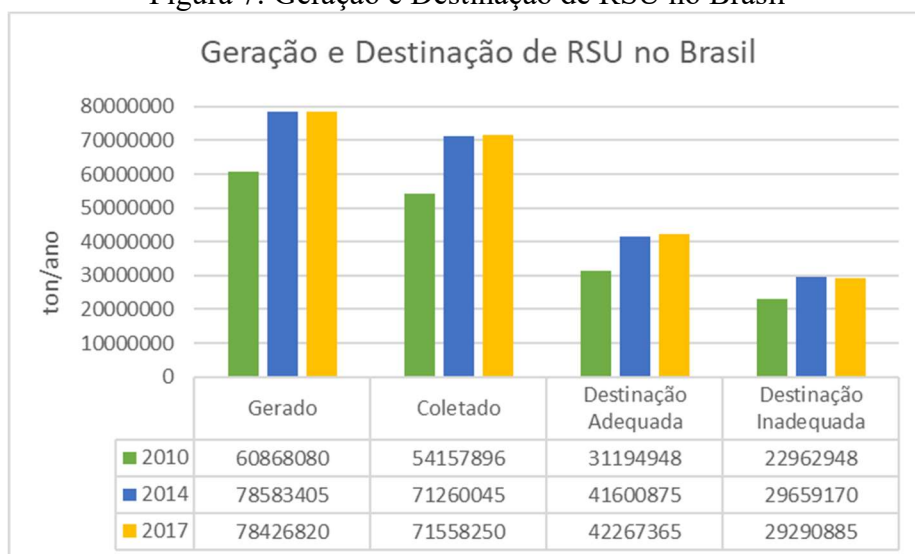


Fonte: ABRELPE, 2017.

A partir da Lei 12.305/2010, ocorreu uma preocupação relacionada à gestão dos resíduos e sua disposição ambientalmente adequada, fato este que impulsionou a meta de eliminação de lixões e locais considerados inadequados até 2014 (LAVNITCKI *et al.*, 2018), todavia, esta meta não foi alcançada.

De acordo com Lavnitcki *et al.* (2018), os resíduos sólidos devem ser aproveitados enquanto os rejeitos, ou seja, aquilo que não pode ser reaproveitado ou reciclado, devem ser destinados para os aterros sanitários. No entanto, a destinação ambientalmente inadequada se encontra em uma situação de difícil erradicação. “De 2010 para 2015 praticamente não houve melhoras quando verificado os volumes de resíduos dispostos inadequadamente, tendo-se uma diminuição de menos de 1% (LAVNITCKI *et al.*, 2018). A Figura 7 abaixo ilustra em um mesmo gráfico as quantidades geradas, coletadas e destinadas de maneira adequada e inadequada dos resíduos sólidos urbanos brasileiros em três anos distintos.

Figura 7: Geração e Destinação de RSU no Brasil



Fonte: Adaptado de Lavnitcki *et al.* (2018). ABRELPE (2017)

De forma geral, ressalta-se que o prazo de quatro anos a partir da Lei 12.305/2010 para eliminação dos lixões no país não foi suficiente para que os municípios conseguissem se adequar. Os municípios de pequeno porte, principalmente, apresentam maiores dificuldades devido à falta de condições financeiras, políticas e estruturais para a construção de um aterro sanitário.

É importante ressaltar que, segundo Ramos (2014) *apud* Lavnitcki *et al.* (2018), o propósito fundamental da PNRS é o de estimular a coleta seletiva, a reciclagem e o reaproveitamento dos resíduos, sendo a última medida a destinação correta em aterros sanitários, ou seja, apenas daquilo que não pode mais ser reaproveitado, os rejeitos.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE (2010) a alta geração de resíduos deve ser relacionada com a realização da coleta seletiva e não com sua destinação, sendo que nas regiões onde se encontram a maior parte da população e a maior geração média por indivíduo/dia, apresentam índices de disposição regular em aterros sanitários maiores que as de menor densidade populacional (Lavnitcki *et al.*, 2018).

Segundo Jucá (2003), no mundo inteiro, com algumas poucas exceções, os aterros sanitários representam a principal destinação final dos resíduos sólidos. No Brasil, o Sudeste e Sul representam as regiões que apresentam quantidade significativa de aterros comparado as demais. “A grande dificuldade na implantação de mais aterros pelo país reside nos custos de operação de um aterro sanitário, que pressupõe tratamento adequado de líquidos e gases efluentes, além de todos os demais cuidados previstos nas normas técnicas” (JUCÁ, 2003).

No entanto, em contrapartida ao Brasil, diversos países desenvolvidos já apresentam evoluções e inovações significativas com respeito ao tratamento eficaz de resíduos sólidos urbanos, acompanhando as necessidades energéticas, de materiais e ambientais em resposta às demandas da população (BNDES, 2014). Além disso, tais localidades vêm implantando progressivamente legislações claras e objetivas, sensibilização social e educação ambiental. Países da Europa, os Estados Unidos e o Japão são exemplos dos mesmos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, instituída pela Lei 12.305/2010, representar um grande marco de avanço no quesito de gerenciamento de resíduos no Brasil, a mesma não estabeleceu uma grande mudança no comportamento da sociedade quanto à consciência ambiental relacionada ao tratamento e disposição adequada de resíduos. Muito ainda é disposto de maneira inadequada, desrespeitando a Lei. A coleta seletiva, reciclagem, reaproveitamento e

destinação adequada vêm aumentando em um ritmo muito mais lento do que a geração de resíduos por ano, fato que é preocupante para a realidade brasileira e para o meio ambiente.

O Brasil, quando comparado à países desenvolvidos como Estados Unidos, Japão e Alemanha, apresenta uma forte defasagem temporal em relação aos mesmos. Enquanto tais países desenvolvem e aplicam diferentes tecnologias para o tratamento e disposição final de resíduos sólidos, o Brasil ainda se encontra estagnado em aterros sanitários como principal “solução” e, mesmo assim, parte dos resíduos são ainda dispostos de maneira inadequada nos aterros ou então acabam sendo destinados aos lixões, sem sofrerem qualquer tipo de tratamento e gerando risco à saúde humana e ao meio ambiente.

É fundamental que os governantes se responsabilizem por fiscalizar o cumprimento da lei e oferecer infraestrutura adequada à disposição final dos resíduos, assim como as empresas privadas devem introduzir o conceito de “logística reversa” em seus empreendimentos, de maneira a garantir que o produto seja recuperado e seu descarte aconteça de forma adequada. A população, por sua vez, necessita de maior acesso à programas de educação ambiental, para que sejam capazes de compreender a importância da separação e descarte de resíduos da maneira correta.

Mesmo nove anos após da implantação da PNRS, o Brasil ainda possui um cenário com lixões e ausências de medidas realmente efetivas que mudem a realidade do gerenciamento de resíduos brasileiro, fato este que é fortemente prejudicado por motivos econômicos.

A educação ambiental mostra-se como fundamento essencial na contemporaneidade, tendo em vista a necessidade da conscientização de toda a sociedade quanto aos recursos naturais e as consequências de seu consumo excessivo. Além disso, há a necessidade de maiores investimentos por parte do poder público no tratamento e disposição adequada dos resíduos gerados pela população. A gravidade do problema seria muito menor caso os resíduos coletados fossem devidamente reciclados ao invés de serem indevidamente encaminhados à aterros e lixões. Esse cenário expõe que, mesmo com políticas e orientações para enaltecer ações de reaproveitamento e reciclagem, o Brasil apresenta grandes dificuldades de implementar sistemas de tratamento de resíduos efetivos.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 10004:2004. *Resíduos Sólidos – Classificação*. 2004;

ABRELPE. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*, 2017;

Banco Central do Brasil, 2019. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/sgspub/localizarseries/localizarSeries.do?method=prepararTelaLocalizarSeries>>. Acesso em: 01 de julho de 2019.

BNDES. *Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão*, 2014;

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 20 de março de 2019;

BRUNTLAND, Comissão. *Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento: o nosso futuro comum, 2ª edição*. Fundação Getúlio Vargas, 1991;

CESARO, A.; BELGIORNO, V.; NADDEO, V. *A comparative technology assessment of the anaerobic digestion of an organic fraction of municipal solid waste*. Biomass to Biofuels, S. Syngellakis (ed). WIT Press, Southampton. 2015;

COLVERO, D. A., ALMEIDA, M. G., GOMES, A. P., PFEIFFER, S. C. *Aterro Sanitário de Goiânia: Uma Identidade Territorial e a Vulnerabilidade e Exclusão Social da População do seu Entorno*. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 14, n. 2, p. 03-20, jul./dez. 2017;

GUEDES, G.G., FERNANDES, M. *Gestão ambiental de resíduos sólidos da construção civil no Distrito Federal*. Universitas Gestão e TI, v. 3, n. 1, p. 39-50, jan./jun. 2013;

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produto Interno Bruto – PIB*. 2010 Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>. Acesso em: 01 de julho de 2019.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. *Global Warming of 1.5°C – Summary for Policymakers*. Documento Oficial. 34pp, 2018;

JUCÁ, F. F. T. *Disposição Final dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil*. 5º Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, 2003;

LAVNITCK, L., BAUM, C. A., BECEGATO, V. A. *Política Nacional dos Resíduos Sólidos: Abordagem da Problemática no Brasil e a Situação na Região Sul*. Revista Ambiente & Educação Vol. 23, n. 3, 2018;

MASSANEWS, 2017. Disponível em: <https://massanews.com/noticias/plantao/aterro-sanitario-lixo-vira-energia-e-gera-economia-de-r-28-mil-rYVWe.html>. Acesso em: 24 setembro 2018

Ministério do Meio Ambiente, 2019. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADuos-s%C3%B3lidos>>. Acesso em: 25 de março de 2019.

PRATES, L. F. S.; PIMENTA, C. F.; RIBEIRO, H. F. Alternativas tecnológicas para tratamento de resíduos sólidos urbanos. APPREHENDERE – Aprendizagem & Interdisciplinaridade, V (1), n. 2 (Edição Especial), 2019;

SANTOS, A. T. L, HENRIQUE, N, S, SHHLINDWEIN, J. A., FERREIRA, E., STACHIW, R. *Aproveitamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos para produção de composto orgânico*. Revista Brasileira de Ciências da Amazônia, v. 3, n. 1, p. 15-28, 2014;

SEIBERT, A. L. *A importância da gestão de resíduos sólidos urbanos e a conscientização sobre a sustentabilidade para a população em geral*. 2014. 44p - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Campus Medianeira, 2014.