

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

MARCELA LUZ COUTINHO

**REVISÃO DA LITERATURA: FRAÇÃO ORGÂNICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS, IMPACTOS EM ATERROS SANITÁRIOS E COMPOSTAGEM COMO
SOLUÇÃO**

JUIZ DE FORA – MG

2020

MARCELA LUZ COUTINHO

**REVISÃO DA LITERATURA: FRAÇÃO ORGÂNICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS, IMPACTOS EM ATERROS SANITÁRIOS E COMPOSTAGEM COMO
SOLUÇÃO**

Trabalho Final de Curso apresentado ao
Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental
e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de
Fora, como requisito parcial à obtenção do
título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Área de concentração: Resíduos Sólidos

Linha de pesquisa: Geotecnia Ambiental

Orientador: Prof^a. DSc. Júlia Righi de Almeida

JUIZ DE FORA – MG

2020

MARCELA LUZ COUTINHO

**REVISÃO DA LITERATURA: FRAÇÃO ORGÂNICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS, IMPACTOS EM ATERROS SANITÁRIOS E COMPOSTAGEM COMO
SOLUÇÃO**

Trabalho Final de Curso apresentado ao
Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental
e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de
Fora, como requisito parcial à obtenção do
título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em (dia) de Setembro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. DSc. Júlia Righi de Almeida
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^a. DSc. Maria Helena Rodrigues Gomes
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dsc. Samuel Rodrigues Castro
Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, que me deu forças e saúde para eu superar as dificuldades e permitiu que eu chegasse até aqui.

Aos meus avós Daci e Vanir que sempre estiveram ao meu lado me apoiando ao longo de toda a minha trajetória.

À minha mãe Valéria por sempre me incentivar e acreditar que eu seria capaz de superar os obstáculos que a vida me apresentou.

Ao meu irmão Gustavo pela amizade e atenção dedicadas quando sempre precisei.

Aos meus tios Flávio e Vânia que me incentivaram a continuar firme nos meus objetivos.

A todos os meus familiares, que mesmo de longe, mandaram energias positivas para a conclusão deste trabalho.

Ao meu namorado João, por estar ao meu lado em todos os momentos.

Agradeço aos amigos que participaram direta e indiretamente para a conclusão deste trabalho.

Sou grata pela confiança depositada na proposta de projeto pela minha professora Júlia Righi, orientadora do meu trabalho, por sua dedicação e paciência durante o projeto. Seus conhecimentos fizeram grande diferença no resultado final deste trabalho. Obrigada por me manter motivada durante todo o processo.

A todos os mestres da Universidade Federal de Juiz de Fora que contribuem com a minha formação acadêmica e profissional durante a minha vida.



(BECK, [201-]).

RESUMO

Nos dias atuais, os aterros sanitários funcionam como meio de disposição final de uma parcela relevante dos resíduos sólidos urbanos (RSU) brasileiros. Nos resíduos domiciliares, a fração percentual de orgânicos supera a fração seca, sendo a primeira responsável pela geração de lixiviado e gás metano. Quando não separados corretamente, estes resíduos são encaminhados para os aterros sanitários, acarretando diversos impactos negativos no local de destino e seu entorno. Dessa forma, uma alternativa acessível que minimiza tais impactos é a compostagem, caracterizada como processo natural da decomposição da matéria orgânica, técnica responsável pela redução do volume de resíduos orgânicos que chega aos aterros. Nesse contexto, o presente trabalho teve o objetivo de discutir os impactos ambientais dos resíduos orgânicos nestas grandes obras de engenharia, relacionado à contaminação dos solos e águas, assim como questões estruturais dos taludes, referentes à estabilidade e segurança dos maciços. Por meio da revisão bibliográfica, foi realizada uma discussão sobre os fatores que permeiam as consequências ambientais a partir do aterramento da matéria orgânica, além de apresentar a compostagem como método sustentável de colaboração da população com o meio ambiente. Os resultados obtidos sustentam uma reflexão do atual panorama dos resíduos sólidos urbanos e sua geração, assim como a auto responsabilidade em relação à sua destinação e consequências ocasionadas por tais hábitos.

Palavras-chave: 1. Resíduos Orgânicos 2. Matéria orgânica 3. Impactos 4. Aterro Sanitário 5. Compostagem

ABSTRACT

In today's days, the landfills function as a means of final disposal of a relevant portion of Brazilian urban solid waste (SSR). In household waste, the percentage fraction of organics exceeds the dry fraction, being the first responsible for the generation of leachate and methane gas. When not separated correctly, these wastes are sent to the landfill sites, resulting in several negative impacts on the place of destination and its surroundings. Thus, an affordable alternative that minimizes such impacts is composting, characterized as a natural process of organic matter decomposition, a technique responsible for reducing the volume of organic waste that reaches landfills. In this context, the present work was aimed at discussing the environmental impacts of organic waste in these major engineering works related to soil and water contamination, as well as structural issues related to the stability and safety of the massif. Through the bibliographic review, a discussion was held on the factors that permeate the environmental consequences from the grounding of organic matter, in addition to presenting composting as a sustainable method of collaboration of the population with the environment. The results obtained support a reflection of the current landscape of urban solid waste and its generation, as well as self-responsibility in relation to its destination and consequences caused by such habits.

Keywords: 1. Organic waste 2. Organic matter 3. Impacts 4. Landfill 5. Composting

Lista de Figuras

Figura 1 - Hierarquia da PNRS (2010).	19
Figura 2 - Composição gravimétrica dos resíduos sólidos coletados no Brasil.	24
Figura 3 - Etapas do quarteamento para determinação da composição gravimétrica.	26
Figura 4 - Seleção da amostra de forma aleatória para o estudo.	28
Figura 5 - Descarregamento dos RSU pelo caminhão compactador ou caçamba numa área pré-determinada e protegida com lona PEAD.	29
Figura 6 - (A) Local de descarregamento do caminhão, (B) Coleta da amostra em pontos aleatórios da pilha.	30
Figura 7 - Separação das amostras de acordo com as categorias.	31
Figura 8 - Etapas envolvidas no processo de estudo da composição gravimétrica dos RSU do Aterro sanitário de Minas do Leão.	32
Figura 9 - Disposição final dos RSU, por tipos de destinação (toneladas/dia).	34
Figura 10 - Disposição final dos RSU coletados no Brasil (toneladas/ano).	34
Figura 11 - Quantidade de municípios, por tipo de disposição final adotada.	34
Figura 12 - Representação esquemática da seção transversal de um aterro sanitário.	36
Figura 13 - Instalação da manta de impermeabilização no Aterro de Brasília.	37
Figura 14 - Disposição de solo argiloso compactado e posteriormente a manta impermeabilizante no Aterro de Brasília (2017).	38
Figura 15 - Sistema de coleta de percolados de base com a utilização geotêxtil no Aterro Sanitário de Aparecida de Goiânia.	39
Figura 16 - Lagoas de Estabilização do Aterro Sanitário de Campina Grande – PB.	40
Figura 17 - Dreno de gás envolto com brita de um aterro.	41
Figura 18 - Reaproveitamento de biogás do Aterro Sanitário de Belo Horizonte.	42
Figura 19 - Parte do sistema de drenagem superficial de um aterro.	43
Figura 20 - Três fases dos resíduos e como a matéria orgânica se comporta após a degradação.	46
Figura 21 - Bolsões de líquidos e gases formados no interior do maciço.	48
Figura 22 - Fases da compostagem.	54
Figura 23 - Minhocas californianas utilizadas na vermicompostagem.	59
Figura 24 - Composteiras caseiras no quintal ou jardim.	60
Figura 25 - Modelos de composteiras automáticas encontrados no mercado.	61

Figura 26 - Composteira Humi.	62
Figura 27 - Materiais necessários para a montagem da composteira doméstica.	71
Figura 28 - Furos no fundo e laterais dos baldes.	71
Figura 29 - Corte com estilete das tampas.	72
Figura 30 - Balde em que o chorume fica armazenado.	73
Figura 31 - Composteiras montadas no Projeto Geoportal da UFJF.	73
Figura 32 - Esquema de uma Composteira doméstica.	74
Figura 33 - Retirada do biofertilizante líquido da composteira.	75
Figura 34 - Baldinho para separar os orgânicos.	76
Figura 35 - Resíduo orgânico da composteira doméstica coberta com camada de serragem.	78
Figura 36 - Instrumentos para aerar a massa orgânica da composteira em casa.	79
Figura 37 - Adubo orgânico da composteira doméstica.	81
Figura 38 - Retirada do biofertilizante líquido da composteira doméstica.	83
Figura 39 - Critérios de dispensa da impermeabilização de base de aterros de pequeno porte.	

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características Físicas dos resíduos sólidos urbanos.	22
Quadro 2 - Comparativo entre as regiões do Brasil.	32
Quadro 3 - Metas estabelecidas na redução de resíduos orgânicos dispostos em aterros.	65
Quadro 4 - O que pode ou não ser colocado na composteira doméstica.	77
Quadro 5 - Dúvidas recorrentes durante o uso da Composteira doméstica e suas respectivas soluções.	80
Quadro 6 - Algumas vantagens e desvantagens dos Aterros Sanitários.	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EU	União Européia
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
GCL	Geocomposto Argiloso
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MO	Matéria orgânica
NBR	Norma Técnica
PERS	Política Estadual de Resíduos Sólidos
PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PRS	Plano de Resíduos Sólidos
RMR	Região Metropolitana de Recife
RSD	Resíduos Sólidos Domiciliares
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Motivação e relevância da pesquisa.....	15
1.2 Objetivo.....	15
1.2.1 Objetivos Específicos.....	16
1.3 Organização do trabalho	16
2 METODOLOGIA.....	17
3 PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	18
3.1 Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos	20
3.2 Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos	26
3.2.1 Comparativo da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos entre as regiões do Brasil	27
4 IMPACTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA NOS ATERROS SANITÁRIOS	33
4.1 Aterros Sanitários.....	33
4.1.1 Impermeabilização: sistemas de base e laterais	36
4.1.2 Sistema de Drenagem e Tratamento do Lixiviado	38
4.1.3 Sistema de Drenagem e Tratamento de Biogás.....	40
4.1.4 Drenagem Superficial.....	42
4.1.5 Cobertura intermediária e final	43
4.1.6 Monitoramento e Encerramento.....	44
4.2 Maciços de RSU e estabilidade dos maciços dos aterros	45
4.2.1 Influência das propriedades dos resíduos na estabilidade dos maciços	45
4.2.2 Parâmetros de resistência dos resíduos sólidos	48
4.2.3 Comportamento da matéria orgânica nos maciços de resíduos.....	49
5 COMPOSTAGEM.....	51
5.1 Histórico.....	51
5.2 Definição de Compostagem.....	52

5.3 Fases da Compostagem.....	53
5.4 Fatores que influenciam no processo da Compostagem	54
5.4.1 Aeração.....	55
5.4.2 pH.....	56
5.4.3 Umidade	56
5.4.4 Temperatura	56
5.4.5 Relação Carbono/Nitrogênio.....	57
5.4.6 Granulometria do material	58
5.5 Tipos de Compostagem.....	58
5.6 Compostagem na Legislação Brasileira.....	62
5.7 Compostagem ao redor do mundo	65
5.8 Vantagens e desvantagens da Compostagem como tratamento de resíduos orgânicos ..	67
5.9 Compostagem caseira	69
5.9.1 Como construir uma Composteira doméstica	70
5.9.2 Funcionamento da Composteira doméstica.....	73
5.9.3 Manutenção e cuidados da Composteira doméstica.....	75
5.10 Produtos da compostagem	81
6 REFLEXÕES E CONCLUSÃO	84
REFERÊNCIAS.....	91

APRESENTAÇÃO

O presente trabalho foi elaborado e avaliado no formato de monografia, de acordo com as normas definidas na Resolução nº 14/2019 do Colegiado do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da UFJF, como pré-requisito para aprovação na disciplina Trabalho Final de Curso II (ESA098).

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação e relevância da pesquisa

Embora o aterro sanitário seja considerado uma solução ambientalmente adequada no Brasil, a disposição final nesses locais pode gerar consequências indesejadas ao meio ambiente e à saúde pública, principalmente pelos efluentes gerados a partir da grande parcela de matéria orgânica que chega nesses depósitos. Nesse contexto, a técnica da compostagem, que pode ser realizada tanto por grandes geradores quanto de forma artesanal em residências, deve ser difundida como recurso válido para evitar que a decomposição biológica da parcela orgânica nas obras de aterros sanitários seja responsável por consecutivos problemas na instabilidade de suas estruturas, além da alta geração de lixiviado e emissão de gases de efeito estufa, como o metano.

À vista disso, a motivação deste estudo surge com a necessidade de se discutir como a disseminação da compostagem acarretaria no aumento da vida útil destas obras de engenharia, em menos gastos com a operação dos aterros sanitários e ainda na valorização dos subprodutos da compostagem: o adubo orgânico e o biofertilizante líquido.

Visto a relevância do tema, espera-se com esse trabalho realizar uma revisão de literatura acerca da problemática dos resíduos sólidos brasileiros, o impacto de sua fração orgânica na principal forma de disposição final e a importância da compostagem nesse cenário. A discussão realizada no presente documento será feita a partir de um panorama atual dos Resíduos Sólidos no Brasil, da apresentação de estudos de composição gravimétrica dos resíduos nas diferentes regiões do país e ainda na compreensão das etapas de uma obra de aterro. Ao avaliar o comportamento dessas estruturas e do grande número de acidentes envolvendo ruptura de maciços de lixo, é possível concluir que a dificuldade em compreender a dinâmica dessas obras e ainda garantir a estabilidade das mesmas passa pelo pouco conhecimento que se tem a respeito do material aterrado nesses locais.

1.2 Objetivo

O objetivo principal do trabalho é apresentar a relação existente entre a matéria orgânica que chega aos aterros sanitários e os impactos causados por essa fração dos resíduos, apontando a compostagem como possível solução.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Estudar a composição gravimétrica para compreensão da fração orgânica do resíduo sólido brasileiro;
- Apresentar as etapas de uma obra de aterro sanitário e a influência da matéria orgânica na estabilidade dos maciços de lixo;
- Apresentar a importância da disseminação da compostagem, para o número máximo de domicílios, abarcando o maior número de pessoas, como forma de aumentar a vida útil e diminuir custos operacionais de uma obra de aterro sanitário;
- Realizar reflexões acerca do cenário atual da geração de resíduos no Brasil apontando possíveis soluções para melhoria na gestão com foco em educação ambiental e tratamentos anteriores ao aterro sanitário.

1.3 Organização do trabalho

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos, além do Capítulo 1 introdutório com a motivação e relevância do trabalho e objetivos apresentados.

O Capítulo 2 apresenta a Metodologia utilizada no trabalho, que se trata de uma Revisão de Literatura.

O Capítulo 3 trata da Fração Orgânica dos resíduos sólidos urbanos, com o panorama dos RSU no Brasil e sua caracterização.

O Capítulo 4 traz os Impactos que esse tipo de resíduo causa na estabilidade dos maciços de RSU e as etapas dos aterros sanitários.

O Capítulo 5 sobre a Compostagem como possível solução para as problemáticas apresentadas anteriormente.

O Capítulo 6 traz as Reflexões e Conclusão acerca do cenário apresentado, correlacionando com as atualidades do tema.

2 METODOLOGIA

Este capítulo aborda a metodologia utilizada no presente trabalho. A pesquisa é bibliográfica e possui o intuito de sintetizar e analisar as diversas informações existentes sobre o assunto, que muitas vezes se encontram pulverizadas em artigos, trabalhos científicos, dissertações, teses, normas e documentos técnicos.

A revisão bibliográfica, ou revisão da literatura, é a análise crítica, meticulosa e ampla das publicações correntes em uma determinada área do conhecimento (TRENTINI; PAM, 1999). Optou-se por essa metodologia pelo fato de o tema em questão ser considerado relevante e atual face às pressões sociais e ambientais acerca da destinação dos resíduos sólidos urbanos.

No que se refere ao estudo em questão, há uma escassez de material que correlacione a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, com os impactos na estabilidade das obras de aterros sanitários e como a prática da compostagem, difundida para a sociedade, minimizaria tais consequências.

A seleção de trabalhos se deu a partir da adequação de prioridades definidas para cada tema. No primeiro assunto abordado, referente à Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos, consultou-se publicações recentes, dos anos de 2018 e 2019, que abarcam a parte teórica dos últimos 20 anos. Sobre os impactos da matéria orgânica nos aterros sanitários, a grande maioria das publicações referenciadas foram concentradas a partir do ano de 2015 até os dias de hoje, salvo algumas referências teóricas. Por fim, o capítulo dedicado à Compostagem detém muitos arquivos do acervo pessoal, devido à participação da autora, durante o período de 1 ano, no projeto de Treinamento Profissional cujo o tema é “Resíduos sólidos urbanos: gestão, tratamento e projeto de aterros sanitários” da Universidade Federal de Juiz de Fora, orientado pela Prof. Dsc. Júlia Righi de Almeida. Através do projeto, ocorreu a confecção e o acompanhamento de composteiras domésticas de participantes do programa.

3 PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

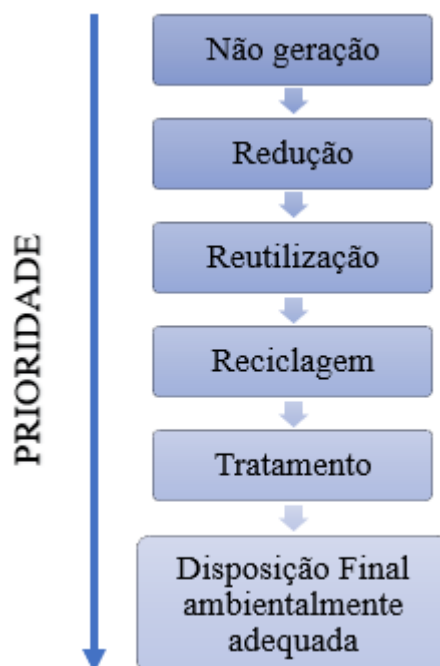
De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), “resíduo sólido é todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível” (PNRS, 2010). Os resíduos sólidos urbanos (RSU), quando classificados quanto à sua origem, são correspondentes aos resíduos sólidos domiciliares (RSD) e aos de limpeza urbana. O primeiro compreende os resíduos gerados nas atividades diárias das residências urbanas e o segundo são os resíduos pertencentes à varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana.

Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, publicado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE, no ano de 2018 foram geradas cerca de 79 milhões de toneladas de RSU, pouco menos de 1% superior em relação ao ano anterior. Como a população também cresceu no período (0,40%), a geração per capita teve elevação um pouco menor (0,39%). Isso significa que, em média, cada brasileiro gerou pouco mais de 1 kg de resíduo por dia. Nesse âmbito, o aumento da geração dos resíduos está diretamente ligado ao crescimento exponencial da população, ao rápido e desordenado processo de urbanização, ao desenvolvimento tecnológico e industrial e, conseqüentemente, ao aumento do poder aquisitivo e à mudança nos padrões de consumo da sociedade (OENNING *et al.*, 2012). Conforme estimativas realizadas com base na série histórica, o Brasil alcançará uma geração anual de 100 milhões de toneladas por volta de 2030 (ABRELPE, 2019).

Nesse contexto, um marco na área ambiental do Brasil, foi a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, que preconiza que os sistemas de manejo de resíduos sólidos devem assegurar a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Tal política veda a disposição final de resíduos sólidos em aterros sanitários que apresentem a possibilidade de outra destinação, como tratamento ou reutilização que viabilize algum uso posterior, intensificando a meta de dispor apenas rejeitos

(ALVARES, 2014). Contudo, definida tal hierarquia de ações, conforme é possível visualizar na Figura 1 a seguir, o cenário atual apresenta déficits consideráveis.

Figura 1 - Hierarquia da PNRS (2010).



Fonte: Elaborado pela própria autora

O que ocorre, na prática, é que os incentivos para a realização das etapas prioritárias do cumprimento da legislação são quase inexistentes, contribuindo para que grande parte do volume de resíduo com alto poder de reaproveitamento e reciclagem continue chegando aos aterros. Esse procedimento faz com que a vida útil dessas áreas se encerre cada vez mais rápido e seja necessário o licenciamento de novos locais para destinação da enorme quantidade de resíduos gerado em todo o território brasileiro (RIGHI, 2017).

No último estudo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) de 2008 revelou que cerca de 61% dos resíduos eram dispostos de forma imprópria em lixões e/ou aterros controlados. Já no estudo realizado pela ABRELPE no ano de 2018, dez anos depois, foi apontado que cerca de 40,5% dos RSU coletados no país foram encaminhados para lixões e aterros controlados, presentes em todas as regiões do Brasil, destino de mais de 80 mil toneladas de resíduos por dia, com elevado potencial de poluição ambiental e impactos negativos à saúde. Ademais, a ABRELPE (2019) indica ainda que os municípios com

serviços de manejo dos resíduos sólidos situados nas Regiões Norte e Nordeste registraram as maiores proporções de destinação desses resíduos aos lixões e aterros controlados, 74,7% e 79,3%, respectivamente.

O volume restante, cerca de 59,5% do total coletado no Brasil, é aterrado em obras de disposição final ambientalmente adequadas, os aterros sanitários, e apresentam majoritariamente a fração orgânica em sua disposição (ABRELPE, 2019). Embora no Brasil sejam opções tecnológicas consideradas adequadas, em países desenvolvidos não são considerados ambientalmente corretos, pois mesmo com os sistemas de coleta e queima do biogás gerado pela decomposição da matéria orgânica presente no lixo, uma parcela significativa deste gás não é captada pelo sistema, sendo então emitida para a atmosfera (GOMES, AQUINO e COLTURATO, 2012). Em países desenvolvidos, destacam-se as inovações e evoluções tecnológicas importantes, que têm acompanhado as demandas energéticas, materiais e ambientais, como por exemplo, os incineradores (BERTICELLI; PANDOLFO; KORF, 2017).

O manejo incorreto desses resíduos orgânicos pode se tornar uma fonte de poluição do solo, recursos hídricos e, também, a proliferação de insetos pela disposição inadequada desses resíduos no meio ambiente (RODRIGUES *et al.*, 2015). Ademais, o meio de degradação em que os orgânicos estão expostos é basicamente anaeróbico, acarretando a formação de produtos indesejáveis como gás metano, substância que além de inflamável é um gás de efeito estufa 21 vezes mais poluente do que o dióxido de carbono (ROMANI e SEGALA, 2014).

3.1 Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos

Os resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil, são constituídos por uma composição de materiais de variados tipos, formas e dimensões. Nesse sentido, é evidente sua heterogeneidade, configurando, assim, um alto grau de complexidade para seu tratamento e manuseio (BARROS, 2012 *apud* SOLANI; KUMSCHLIES; SCHALCH, 2019). As características e propriedades dos resíduos sólidos aterrados, assim como sua composição qualitativa e quantitativa são de difícil distinção, por variarem em diferentes lugares, pela dificuldade de obtenção de amostras representativas e procedimentos de ensaios eficientes, e ainda, por essas propriedades mudarem drasticamente com o tempo (MATTEI e ESCOSTEGUY, 2007).

As características físicas têm sua utilização pelos gestores no sentido de dimensionamento e também para o direcionamento das formas de tratamento e disposição final. São empregadas para: conhecer a geração per capita; teor de umidade; composição gravimétrica; peso específico aparente e compressividade (SOLANI; KUMSCHLIES; SCHALCH, 2019).

O Quadro 1 a seguir reúne as características físicas dos resíduos sólidos urbanos e sua importância para o Plano de Resíduos Sólidos respectivamente.

Quadro 1 - Características Físicas dos resíduos sólidos urbanos.

Características Físicas	Descrição	Médias Nacionais	Importância para o PRS
Geração per capita (kg/hab/dia)	Relaciona a quantidade de resíduos sólidos urbanos gerada diariamente e o número de habitantes de determinada região.	1,0 kg/hab/dia	Permite projeção da quantidade de resíduos sólidos a ser coletada; Permite dimensionamento da frota e planejamento da destinação final
Composição gravimétrica	Apresenta percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra de resíduos sólidos analisada.	Majoritariamente composto de fração orgânica, cerca de 50% da massa total.	Permite estimar potencial de reciclagem e de compostagem
Peso específico aparente (kg/m ³)	Peso dos resíduos sólidos soltos em função do volume ocupado livremente, isento de compactação.	Resíduos domiciliares -Soltos: 250kg/m ³ -Compactados: 600kg/m ³	Permite dimensionar a frota de coleta
Teor de Umidade	Quantidade de água presente nos resíduos sólidos em função de seu peso.	40 a 60% de umidade	Interfere no processo de compostagem; Impacta na produção de chorume.
Compressividade	Grau de compactação ou redução do volume que a massa de resíduos pode sofrer.	Depende da pressão, podendo ser reduzido a 1/3 ou 1/4 de seu volume original	Auxilia no dimensionamento dos veículos coletores, definição de estações de transbordo e caçambas.

Fonte: IBAM (ROMANI e SEGALA, 2014)

Dentre as características físicas dos resíduos sólidos urbanos destaca-se a composição gravimétrica.

A composição gravimétrica possui grande relevância como ferramenta para a realização de análises quantitativas e qualitativas dos RSU. De acordo com a ABNT-NBR 10.007/2004, a caracterização gravimétrica é a determinação dos constituintes e de suas respectivas percentagens em peso e volume, em uma amostra de resíduos sólidos, podendo ser físico, químico e biológico (ABNT, 2004b). A partir dela é possível conhecer o perfil dos resíduos gerados, permitindo determinar a porcentagem de cada tipo de material (papel, vidro, plástico, etc.) e, conseqüentemente, contribui para a tomada de decisão para a adequada gestão desses (PESSIN *et al.*, 2006; SOUZA; GUADAGNIN, 2009 *apud* ROCHA *et al.*, 2018).

O conhecimento da composição gravimétrica permite uma avaliação preliminar da degradabilidade, do poder de contaminação ambiental, das possibilidades de reutilização, reciclagem, valorização energética e orgânica dos resíduos sólidos urbanos (SOARES, 2011).

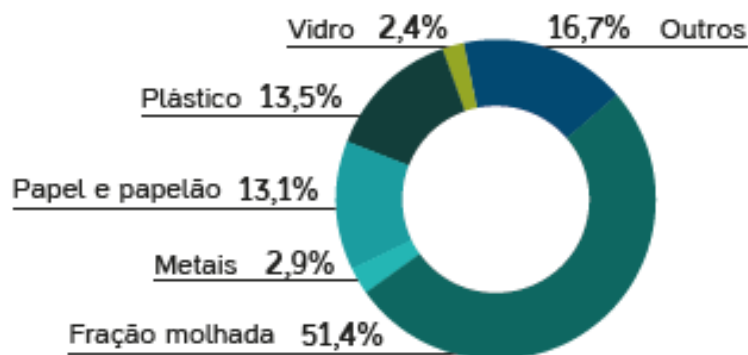
Os resíduos podem ser separados em 20 categorias diferentes, conforme classificação proposta por FEAM (2015), sendo elas: restos de comida; poda; plástico rígido, filme e PET; papel fino e papelão; tetra pak; ferro, alumínio e outros; vidro; material inerte; madeira; borracha; tecido; couro; contaminantes biológico e químico; eletrônicos e rejeitos diversos (MENEZES *et al.*, 2019). No entanto, a NBR 10.007 não determina quais categorias devem ser consideradas para realizar a caracterização física dos RSU, o que deixa uma abertura para que cada localidade considere o que achar pertinente, de acordo com a finalidade do estudo, dificultando a comparação temporal e espacial (KIM, 2019).

No Brasil, os resíduos gerados são constituídos, em sua maior parte, de material orgânico; contudo, nos últimos anos, é expressiva a parcela de produtos descartáveis, principalmente diversos tipos de plásticos. O consumo deste tipo de produto é atrativo devido à facilidade de manuseio, e este consumo desenfreado, aliado ao descarte inadequado dos resíduos, é visto hoje como um dos maiores problemas ambientais mundiais, pois sua disposição inadequada faz com que os mesmos sejam carreados pelo sistema de drenagem urbana e impulsionem a poluição hídrica (GIACCOM-RIBEIRO e MENDES, 2018).

Segundo o relatório do Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, 2019), a composição gravimétrica dos resíduos sólidos coletados no Brasil possui um

percentual de fração molhada, ou seja, de resíduos orgânicos de 51,4%, seguido pelos resíduos recicláveis que representam 31,9% do total, incluindo os metais (2,9%), papel (13,1%), plástico (13,5%), vidro (2,4%) e outros resíduos (16,7%) conforme a Figura 2 abaixo.

Figura 2 - Composição gravimétrica dos resíduos sólidos coletados no Brasil.



Fonte: CEMPRE (2019)

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos é variável, pois cada área e região demonstram particularidades que podem influenciar diretamente na composição. Nesse sentido, em um mesmo município ou país, inúmeras alterações podem ser detectadas. As principais influências da geração dos resíduos sólidos urbanos são atribuídas ao número de habitantes em cada zona urbana, poder aquisitivo, nível educacional, hábitos e costumes da população, condições climáticas, sazonais e a política econômica (OLIVEIRA *et al.*, 2010 *apud* GUIMARÃES, 2019). Por exemplo, a interferência da sazonalidade, pode levar a conclusões equivocadas quanto a real contribuição de um determinado parâmetro no total do RSU gerado na cidade, como é fácil imaginar que em época de chuvas fortes o teor de umidade no RSU tenda a crescer. O mesmo acontece com o percentual de latinhas de cerveja e de vidro no carnaval ou ainda com o número de folhas de árvores recolhidas no outono (SOARES, 2011).

Rosana *et al.* (2019) determinaram a caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares (RSD) gerados em 2015 na cidade de Juiz de Fora, Minas Gerais, com base nas sete regiões urbanas do município e na renda. No estudo foi considerado as frações de orgânicos, composta de restos de comida e poda, e a fração de recicláveis, composta de plástico, papel, metal e vidro, das sete regiões, por serem majoritárias em todas as amostras e, conseqüentemente, de maior interesse. Foi constatada a parcela média de orgânicos de 43,81% do total coletado, encontrando-se abaixo da estimativa nacional,

que é de aproximadamente 51%. Já com relação os recicláveis, foi encontrada a parcela expressiva de 31,74% do total de resíduos amostrados e, comparativamente à média nacional, apresenta uma grande proximidade que é de, aproximadamente, 32%.

Na literatura, são apresentados diferentes métodos para determinar a composição gravimétrica dos resíduos sólidos, a maior parte utiliza como fase do processo o quarteamento da amostra, conforme a ABNT - NBR 10007/2004 (ABNT, 2004b). Os passos a serem desenvolvidos para a realização da técnica do quarteamento foi descrito detalhadamente por Abreu (2008) e Pessin, de Conto e Quissini (2002) da seguinte forma:

a) O processo de quarteamento inicia-se com a descarga dos resíduos sólidos do caminhão de coleta. Posteriormente se faz o revolvimento da pilha e abertura das sacolas para máxima homogeneização;

b) O primeiro quarteamento consiste em dividir o montante em quatro partes, aparentemente iguais e toma-se as duas partes opostas diagonalmente, descartando as duas partes restantes. Com os resíduos restante se repete a técnica do quarteamento, coletando novamente duas partes opostas em diagonal e descartando as demais;

c) Na pilha que restou após realização dos dois quarteamentos, inicia a coleta dos resíduos e preenchimento dos recipientes plásticos, com capacidade de 20 Litros, os quais são individualmente pesados, vazios e cheios;

d) Os resíduos de cada recipiente são dispostos de modo a proceder à segregação de seus componentes;

e) De acordo com a definição dos componentes (embalagem multicamada; papel/papelão, plástico duro e isopor, plástico mole, metal (ferrosos e não-ferrosos, latas de alumínio, vidro, matéria orgânica, rejeito, pano/trapo/têxteis e outros) os resíduos são separados e acondicionados;

f) Por fim, após fazer a separação dos componentes, os mesmos são pesados e os valores obtidos registrados em planilhas.

As etapas estão expostas a seguir na Figura 3 de forma simplificada.

Figura 3 - Etapas do quarteamento para determinação da composição gravimétrica.



Fonte: SOARES (2011)

3.2 Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos

No passado, os resíduos produzidos pela população eram, em sua maioria, compostos orgânicos facilmente degradados. No entanto, com a industrialização, onde cada vez mais são produzidos bens não duráveis, as características e o volume desses resíduos mudaram, o que traz consequências graves para saúde pública e ambiental (CASARIN, 2013). Cada vez mais as atividades antrópicas têm aumentado significativamente a sua geração, fazendo surgir a necessidade de reincorporar esses resíduos aos sistemas naturais de maneira ambientalmente correta, evitando assim,

impactos ambientais graves (DORES-SILVA; LANDGRAF; REZENDE, 2013; PRÁ *et al.*, 2009 *apud* ROSA *et al.*, 2019).

Atualmente, por pressão ambiental e social cada vez mais é incentivada a busca por soluções para a destinação ambientalmente correta dos resíduos sólidos orgânicos, visto que sua geração é superior ao seu nível de degradação ao meio ambiente (ROSA *et al.*, 2019). Saber a porcentagem da fração orgânica gerada no município permite viabilizar a forma de valorizar esse tipo de resíduo, o que pode ser feita através de compostagem ou digestão anaeróbia. Ou seja, sabendo a quantidade gerada de resíduos orgânicos é possível fazer o dimensionamento das unidades de compostagem e biometanização e verificar a melhor forma de instalá-las nos municípios para atender a demanda e com o melhor custo-benefício (KIM, 2019).

Os resíduos sólidos domiciliares no Brasil apresentam alto percentual de resíduos orgânicos formados por restos de comida e cascas de frutas e legumes e até mesmo resíduos de jardinagem (SANTOS *et al.*, 2014).

Como referido anteriormente, o percentual de matéria orgânica varia de acordo com as diferentes regiões, uma vez que está justamente associada com as características, hábitos e costumes de consumo e descarte da população local (GUIMARÃES, 2019).

3.2.1 Comparativo da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos entre as regiões do Brasil

Estudos recentes realizados em diversas regiões do Brasil buscaram avaliar a composição gravimétrica dos resíduos. No contexto do estudo, a ênfase será dada à fração orgânica encontrada.

Através da análise dos resíduos sólidos domiciliares do município de São Carlos, no Estado de São Paulo, Kim (2019) detectou a fração de 37,48% de matéria orgânica (MO) no resíduo do Aterro sanitário de São Carlos. Segundo a autora, no caso da parcela orgânica, a correlação da gravimetria com aspectos socioeconômicos da população indicou que não há evidências fortes de correlação entre composição gravimétrica e renda média familiar e nível de escolaridade. Ademais, Kim (2019) constatou através da comparação com estudos anteriores no mesmo município, que entre a gravimetria de 2005 e 2018 foi observado um grande decréscimo, representado pelo valor de 59,08% de MO no primeiro estudo. Esta diminuição da fração orgânica nos RSD de São Carlos foi

associada com o aumento de produtos industrializados, o que também pôde ser apoiada com o aumento da porcentagem de plásticos, e não com a promoção de compostagem pela população. A percepção da população quanto a geração e destinação dos resíduos sólidos se mostrou insatisfatória no que se refere aos resíduos orgânicos, visto que um questionário elaborado indicou que quase metade da população não sabe o que é compostagem, e dos que sabem, apenas 14% reciclam os orgânicos em casa. A Figura 4 a seguir ilustra a pesquisadora selecionando amostras de forma aleatória para compor a amostra do aterro sanitário de São Carlos.

Figura 4 - Seleção da amostra de forma aleatória para o estudo.



Fonte: KIM (2019)

Já na Região Nordeste, Tavares (2018) elaborou um estudo na Região Metropolitana de Recife (RMR), a maior região metropolitana do Norte-Nordeste, que compreende 15 municípios do estado de Pernambuco. Dessa forma, foi possível realizar estudos de composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de oito dos quinze municípios, a fim de desenvolver um melhor diagnóstico do sistema de limpeza urbana. A geração per capita dos RSU na RMR tem uma média de 0,91 kg/hab./dia e a técnica utilizada para determinar a composição gravimétrica foi a de quarteamento, exposta como parte do processo de amostragem de resíduos sólidos na NBR 10.007. No atual contexto, a situação da disposição final dos RSU da RMR encontra-se satisfatória, pois 92,69% dos resíduos coletados são encaminhados para aterro sanitário. Os resultados mostraram que, comparando os valores encontrados nesse estudo e os apresentados no Plano

Metropolitano dos Resíduos Sólidos de Recife em 2011, o percentual de matéria orgânica sofreu uma redução de 54,2% para 38,4%, em razão ao aumento do consumo de materiais com embalagens recicláveis pela população de classe baixa (TAVARES, 2018).

Figura 5 - Descarregamento dos RSU pelo caminhão compactador ou caçamba numa área pré-determinada e protegida com lona PEAD.



Fonte: TAVARES (2018)

Outra análise recente da composição gravimétrica, agora na Região Norte, foi realizada no estado do Amazonas, no município de Itacoatiara, por Guimarães (2019). A área de estudo foi considerada pelo autor bem heterogênea, pois foi caracterizada por bairros residenciais e o bairro Centro, com presença de estabelecimentos comerciais, de serviços, feiras livres, escolas, posto de saúde, igrejas, prédios antigos, praças e etc. A metodologia para a determinação da análise gravimétrica foi o quarteamento. A Figura 6 representa como foi a obtenção da amostra para o estudo. De todos os resíduos analisados que estão dispostos no Lixão municipal, a fração de maior destaque foi a de resíduo orgânico, representada por 51,32%. Nesse contexto, um fator que pode ser considerado por estes altos índices de materiais orgânicos é a presença de feiras livres na região central do município. Além disso, o estudo não cita a existência da prática ou incentivo da compostagem pelo município ou outras práticas para minimizar a quantidade de resíduos sólidos gerados, seja ele para impedir o descarte de resíduos em local inadequado (GUIMARÃES, 2019).

Figura 6 - (A) Local de descarregamento do caminhão, (B) Coleta da amostra em pontos aleatórios da pilha.



Fonte: GUIMARÃES (2019)

No que se refere à Região Centro-Oeste, destaca-se o estudo realizado no município de Sinop, estado de Mato Grosso, onde atualmente o destino final dos resíduos é um aterro sanitário no município de Primavera, uma vez que não há aterro sanitário no município em questão. Haubert *et al.* (2018) restringiram-se aos bairros de renda baixa, classes C e D. As amostras coletadas foram caracterizadas, desprezando a etapa de quarteamento. A separação foi realizada de forma manual, onde cada uma das frações após separadas (Figura 7), foram submetidas a uma pesagem, obtendo assim a fração de massa de cada uma das categorias. Os resultados indicaram que aproximadamente 41% do total de resíduos coletados são orgânicos, porcentagem menor que aquela encontrada em estudo realizado pela Reusa (2014) - empresa responsável pelo gerenciamento de resíduos no município de Sinop – MT, que se baseou em pesquisas de outros municípios com o mesmo porte e renda per capita similar, apresentando que 56% dos resíduos gerados são de origem orgânica. No que se refere à geração per capita, foi observado que a média gerada (kg/hab/dia) é de 1,57 para classe C e 1,23 para classe D (HAUBERT *et al.*, 2018), e destaca a produção maior das classes de alta renda em relação as classes de baixa renda. Enfim, os autores salientam a criação de outras medidas de destinação final de algumas categorias dos resíduos, como por exemplo compostagem para tratamento da matéria orgânica.

Figura 7 - Separação das amostras de acordo com as categorias.



Fonte: HAUBERT, *et al.* (2018)

Por fim, apresenta-se o estudo de Trentin *et al.* (2019) realizado no município de Santa Cruz do Sul, no estado do Rio Grande do Sul. Os resíduos da cidade são encaminhados para o Aterro Sanitário de Minas do Leão, localizado no município de Minas do Leão – RS. Nesse contexto, para a caracterização gravimétrica, os autores adotaram a técnica do quarteamento, segundo a ABNT n°. 10.007/2004. Na Figura 8, são apresentadas as etapas envolvidas no processo da análise gravimétrica dos RSU. A cidade de médio porte, possui geração per capita de RSU de 0,69 kg/hab./dia., abaixo do valor apresentado no Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul (PERS-RS), em 2014, no qual considera de 0,8 kg/hab./dia para a geração per capita para municípios desse porte (TRENTIN, *et al.*, 2019). A análise da gravimetria revelou que a matéria orgânica possui a maior parcela da massa de resíduos gerados, cerca de 41,65%, que evidencia o potencial para implementação de aproveitamento desse material por meio da compostagem.

Figura 8 - Etapas envolvidas no processo de estudo da composição gravimétrica dos RSU do Aterro sanitário de Minas do Leão.



Fonte: TRENTIN, *et al.* (2019)

O Quadro 2 a seguir é o compilado de todas as informações comparativas das cinco regiões do Brasil.

Quadro 2 - Comparativo entre as regiões do Brasil.

Região	NORTE	NORDESTE	CENTRO-OESTE	SUDESTE	SUL
Autor	Guimarães	Tavares	Haubert et al.	Kim	Trentin et al.
Ano	2019	2018	2018	2019	2019
Município/ Estado	Itacoatiara - AM	RMR- PE	Sinop - MT	São Carlos - SP	Santa Cruz do Sul - RS
Porte do município** (pequeno/médio/grande)	Médio porte	-	Médio porte	Médio porte	Médio porte
Disposição Final	Lixão	Aterro sanitário	Aterro sanitário	Aterro Sanitário	Aterro Sanitário
Geração <i>per capita</i> (kg/hab./dia)	-	0,91	1,62*	-	0,69
Processo de gravimetria realizado	Quarteamento	Quarteamento	-	várias metodologias	Quarteamento
% de fração orgânica	51,32	38,4	41	37,48	41,65

*cálculo da média de todas as classes sociais A, B, C e D, levando-se em conta os dados de rendimento familiar disponibilizados por IBGE (2010).

**município de médio porte, com população entre 50.001 e 300.000 habitantes, segundo IBGE (2016).

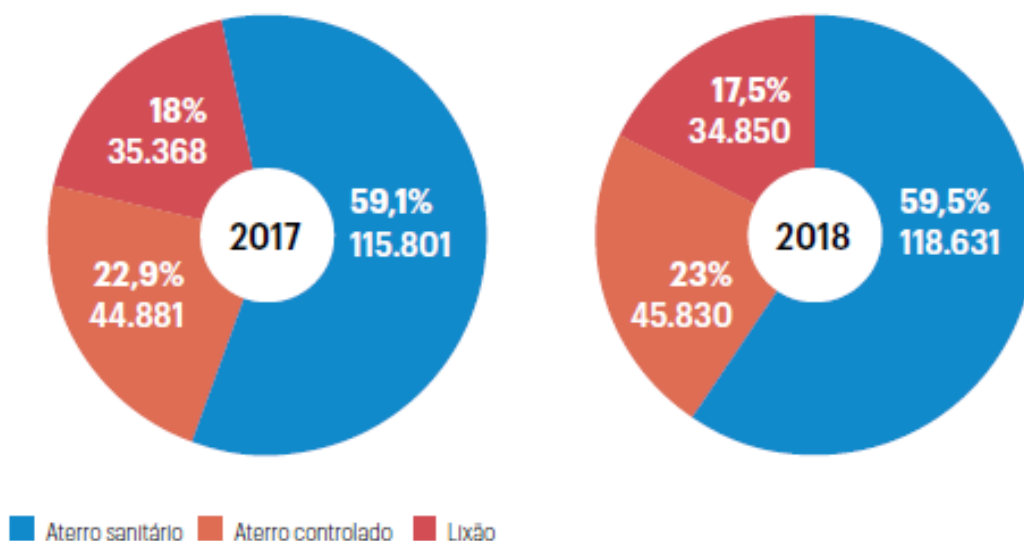
4 IMPACTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA NOS ATERROS SANITÁRIOS

4.1 Aterros Sanitários

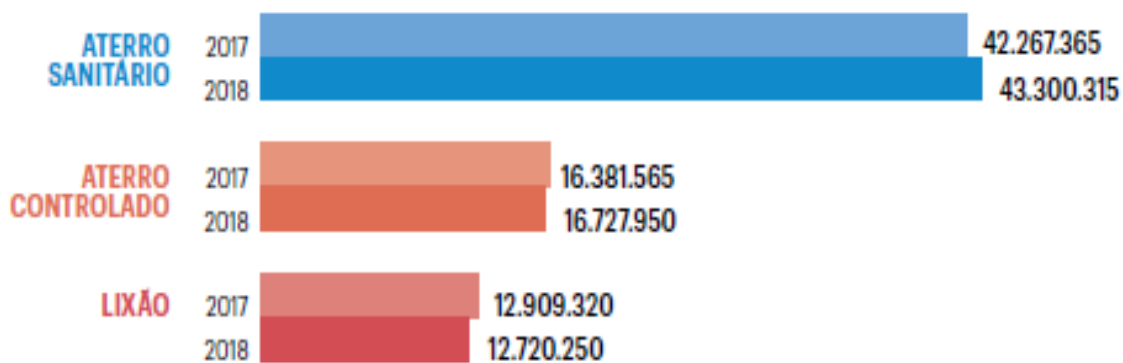
O aterro sanitário é tradicionalmente considerado uma técnica barata e relativamente simples para eliminação de resíduos. Pode-se considerar um projeto econômico visto que, na maioria das vezes, os cuidados necessários no período pós-fechamento não são contabilizados. No entanto, estratégias modernas de gestão consideram que a técnica deve ser aplicada como último caso, visto os importantes impactos ambientais causados, principalmente devido ao transporte do lixiviado nas águas superficiais, subterrâneas e nos solos (COSSU, 2013 *apud* RIGHI, 2017).

Nesse contexto, no que se refere às tecnologias de tratamento e disposição final de RSU, de uma forma geral, não existem tecnologias melhores que outras, mas sim tecnologias apropriadas e que respeitam os aspectos sociais, ambientais e econômicos do local onde será implantada. Esta tecnologia não deve ser definida de forma isolada. O sistema de tratamento (rota tecnológica), o modelo de gestão, o arranjo institucional, todos devem ser definidos de forma conjunta, apoiados em políticas públicas, em estudos de viabilidade econômica e com um grande envolvimento da sociedade (JUCÁ *et al.*, 2014).

No Brasil, cerca de 43,3 milhões de toneladas dos RSU têm como destino final os aterros sanitários, o que representa 59,5% do total coletado. Formas de disposição inadequada continuam sendo usadas por 3.001 municípios, sendo mais de 29,5 milhões de toneladas de resíduos, correspondentes a 40,5% do coletado, enviados para lixões ou aterros controlados (ABRELPE, 2019). As estimativas de disposição final por tipo de destinação (t/ano) e a quantidade de municípios por tipo de disposição final adotada são apresentadas conforme as Figuras 9, 10 e 11 respectivamente.

Figura 9 - Disposição final dos RSU, por tipos de destinação (toneladas/dia).

Fonte: ABRELPE (2019)

Figura 10 - Disposição final dos RSU coletados no Brasil (toneladas/ano).

Fonte: ABRELPE (2019)

Figura 11 - Quantidade de municípios, por tipo de disposição final adotada.

Disposição Final	Brasil 2017	Regiões e Brasil - 2018					Brasil
		Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	
Aterro Sanitário	2.218	93	454	162	820	1.040	2.569
Aterro Controlado	1.742	110	496	152	641	109	1.508
Lixão	1.610	247	844	153	207	42	1.493
BRASIL	5.570	450	1.794	467	1.668	1.191	5.570

Fonte: ABRELPE (2019)

Os aterros sanitários, apesar de constituírem a principal solução sanitária aplicada atualmente no Brasil, geram impactos negativos a curto, médio e longo prazos, como emissões difusas de gases de efeito estufa (GEE), produção de chorume (lixiviado, que percola através dos resíduos depositados e que efluem de um aterro ou neles são contidos), desvalorização de zonas urbanas, contínua demanda por novas áreas, entre outros fatores, que resultam em significativos impactos econômicos para os municípios (GLUZEZAK, 2019).

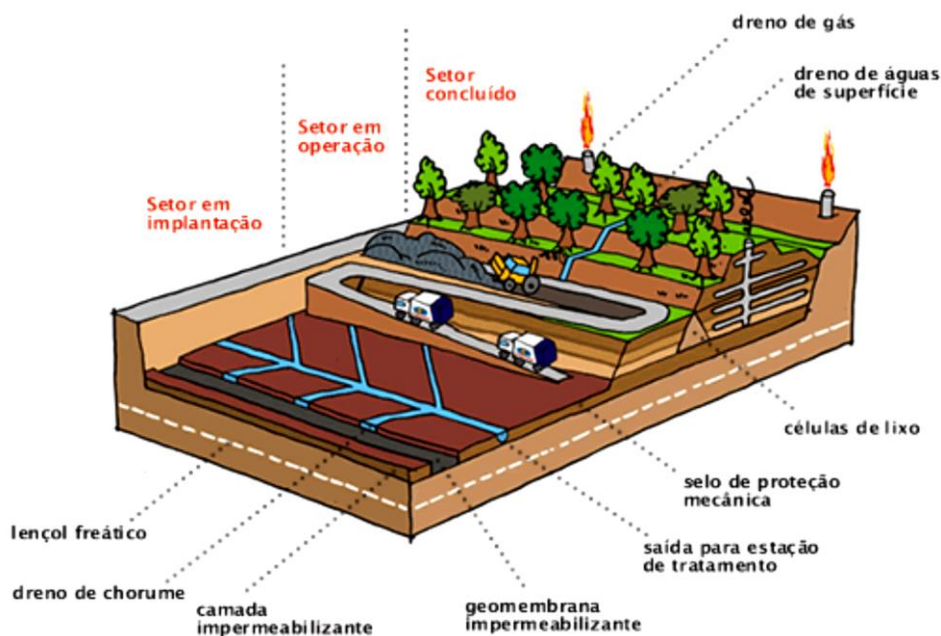
No entanto, diferentemente dos lixões e dos aterros controlados, o aterro sanitário é considerado uma obra de engenharia, que exige um projeto de execução cuja técnica consiste em etapas como: impermeabilização, drenagem e cobertura final (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

A norma NBR 8419 da ABNT (1996, p. 1) define aterros sanitários para disposição de resíduos sólidos urbanos 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.”

Para que de fato os aterros sanitários de RSU não causem danos ou riscos à saúde pública e à segurança, e para que os impactos ambientais sejam os menores possíveis, esse tipo de obra compreende componentes e técnicas de operação específicos, como: divisão em células, sistema de impermeabilização do solo de base e laterais, sistema de drenagem e coleta de líquidos percolados e biogás, sistema de drenagem de águas pluviais, sistema de tratamento de chorume, compactação de resíduos, cobertura diária e final, monitoramento geotécnico e ambiental, entre outros. Dessa forma, existe um controle rigoroso sobre o tipo, volume e classe dos resíduos depositados (SOARES, 2018).

Na Figura 12, está representada de forma esquemática a seção transversal de um aterro sanitário na qual pode-se observar setores em diferentes estágios de execução e os elementos que constituem esta obra.

Figura 12 - Representação esquemática da seção transversal de um aterro sanitário.



Fonte: SOARES (2018)

Em um aterro sanitário, existem diversos elementos que devem ser projetados e planejados com base em critérios de engenharia, tais como sistema de impermeabilização de base, sistema de drenagem de águas superficiais, drenagem de líquidos e gases gerados na decomposição da massa de resíduos, sistema de cobertura dos resíduos, unidades de tratamento de lixiviados e outros. Esse conjunto de sistemas e unidades visa garantir a segurança do aterro, o controle de efluentes líquidos, a redução das emissões gasosas, bem como a redução de riscos à saúde da população, garantindo assim o correto recebimento e tratamento dos resíduos, com menor impacto ambiental e proteção da saúde pública (JUCÁ *et al.*, 2014).

4.1.1 Impermeabilização: sistemas de base e laterais

É elemento de grande importância, dado que aterros sanitários têm por razão a contenção de resíduos, isto é, apresentam um domínio por confinamento (PASSOS, 2019). Nesse sentido, a camada de impermeabilização funciona como uma barreira hidráulica, impedindo ou minimizando o fluxo de percolados existentes em um aterro, durante a fase de operação e após o seu encerramento. Desta forma, o material usado para tal finalidade deve ser estanque, durável e possuir resistência mecânica e química.

Segundo a norma NBR 13896 da ABNT (1997), o sistema de impermeabilização pode ser obtido através da deposição de camadas de materiais artificiais ou naturais e

deve ser implantado quando o coeficiente de permeabilidade do solo local for superior a 10^{-6} cm/s (BORGATTO, 2006).

O emprego de solo como material impermeabilizante é bastante comum, visto que muitas vezes pode ser usado o solo do próprio local para tal finalidade, o que acaba gerando redução nos custos da implantação do aterro sanitário. Normalmente, na construção das barreiras minerais são utilizados materiais de origem natural, os solos argilosos (SOARES, 2018).

Outro método usado para o tratamento de base e laterais de um aterro é através da aplicação de geossintéticos, como as geomembranas e geocompostos argilosos (GCL), que podem ser utilizados unicamente ou combinados com camadas de solo compactado. A Figura 13 exhibe a instalação da manta de impermeabilização da segunda célula de aterramento do Aterro de Brasília, com 22 mil metros quadrados (m^2) de área.

Figura 13 - Instalação da manta de impermeabilização no Aterro de Brasília.



Fonte: PASSOS (2019)

A camada de base deve ser instalada sobrejacente ao solo natural e se expande a todos os locais onde haverá o contato com percolados ou resíduos produzidos por estes e o solo natural, uma vez que a sua vital atividade é atuar como uma proteção contra transporte advectivo e difusivo dos solutos do percolado (NISIYAMA, 2016 *apud* PASSOS, 2019).

A junção entre materiais sintéticos e naturais progrediu no sentido de acrescentar maior segurança ao revestimento impermeabilizante, e alcançou a caracterização de camada composta dupla, como ilustrado na Figura 14 em que se vê a aplicação de uma barreira dupla e integrada de argila compactada e geomembrana relacionada ao sistema

de drenagem de percolados, da qual a disposição é favorável à percepção do funcionamento dos materiais impermeabilizantes (PASSOS, 2019).

Figura 14 - Disposição de solo argiloso compactado e posteriormente a manta impermeabilizante no Aterro de Brasília (2017).



Fonte: <https://brasiliadefato.com.br/grandebrasil/2017/11/aterro-sanitario-de-brasil-recebe-nova-manta-de-impermeabilizacao/>

4.1.2 Sistema de Drenagem e Tratamento do Lixiviado

A degradação física, química e biológica da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos gera um subproduto altamente poluidor, denominado lixiviado. O lixiviado mais popularmente conhecido como chorume, é um líquido originado a partir dos processos naturais de decomposição juntamente com as águas pluviais e apresenta cor escura, mau cheiro e elevada Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Esse efluente pode causar grandes danos ao meio ambiente, quando não tratado de forma apropriada (MARTILDES *et al.*, 2020).

Assim como o sistema de impermeabilização, o sistema de drenagem também possui função de impedir a percolação desse líquido para as demais camadas de solo e lençol freático, reduzindo a possibilidade de contaminação desses.

Nesse sentido, da mesma maneira que a camada de impermeabilização não é uma individualidade única, e sim composta por outros sistemas, o sistema de drenagem de

lixiviados tem vários elementos que são repartidos na região do aterro e coletam os líquidos percolados gerados, para tratamento ou disposição alternativa.

O sistema de drenagem interna deve coletar o líquido gerado no interior do maciço e conduzi-lo para fora das células, para posterior tratamento. Normalmente sua construção se dá com o uso de tubos perfurados (PVC ou PEAD) envoltos por uma camada de material granular de alta permeabilidade, como as britas, por exemplo, protegida por uma camada filtrante, feitas geralmente de geotêxtil ou areia, que atua impedindo a obstrução dos vazios (SOARES, 2018).

Os drenos são construídos logo após a camada impermeabilizante da base e se repete, dependendo da altura das células, em forma de camadas, conforme o lixo é compactado e a célula vai se verticalizando. A Figura 15 retirada da Prefeitura de Aparecida de Goiânia em 2015, apresenta um sistema de coleta de percolado.

Figura 15 - Sistema de coleta de percolados de base com a utilização geotêxtil no Aterro Sanitário de Aparecida de Goiânia.



FONTE: SOARES (2018)

Através deste sistema, o resíduo líquido é conduzido para outro local, como lagoas e tanques de armazenamento. Esse efluente passa por um tratamento com a finalidade de anular sua carga poluente e odor, e só depois desse processo é lançado na natureza (MARTILDES *et al.*, 2020). Um exemplo é a lagoa de estabilização do Aterro Sanitário do município de Campina Grande, Paraíba, apresentada na Figura 16. Nesse contexto, o lançamento de lixiviado ao recurso hídrico deve atender obrigatoriamente aos padrões do seu corpo receptor, bem como as legislações vigentes (GALLI, 2018).

Figura 16 - Lagoas de Estabilização do Aterro Sanitário de Campina Grande – PB.



Fonte: MARTILDES *et al.* (2020)

Devido aos diferentes elementos que formam o lixiviado, há uma dificuldade na escolha de um tratamento eficaz, sendo necessário sempre estudar as propriedades do chorume gerado pelo lixo. Os tratamentos mais comuns são o biológico ou químicos. A maior parte dos aterros no Brasil utiliza o tratamento biológico (MARTILDES *et al.*, 2020).

À proporção que se dá a produção de percolato no aterro, quer seja pela fração infiltrada da precipitação ou pelo próprio interior do resíduo, mesmo que, por gravidade, pode possivelmente alcançar a base da célula (PASSOS, 2019).

Outra oportunidade para o lixiviado no aterro sanitário é a ação de recirculação. Tal técnica é utilizada para promover melhor contato entre substratos insolúveis, nutrientes e microrganismos, ao mesmo tempo tratando o lixiviado e acelerando a degradação anaeróbica dos resíduos, considerando o processo muito vantajoso para a estabilização anaeróbia de resíduos sólidos. Entretanto, esse tipo de técnica também apresenta desvantagem, no ponto de vista estrutural, por proporcionar a instabilidade dos taludes, causado pelo acúmulo de líquidos no interior da massa de resíduos, além de provocar contato direto com os trabalhadores podendo acarretar riscos à saúde (MARTILDES *et al.*, 2020).

4.1.3 Sistema de Drenagem e Tratamento de Biogás

O processo de degradação dos resíduos em um aterro de RSU se dá pela decomposição anaeróbia, que gera como subprodutos gases tóxicos, constituídos principalmente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) (SOARES, 2018). Nesse contexto, o sistema de controle de gases é empregado para que previnam a movimentação descontrolada destes para a atmosfera.

Além do seu potencial poluidor, o biogás tem alto poder de combustão e quando não é drenado corretamente pode se concentrar em bolsões e se movimentar de forma indiscriminada pela massa de lixo, podendo causar explosões acidentais no aterro. Por isso, procura-se aliviar as pressões internas do aterro através da instalação de drenos verticais, controlando a movimentação desses gases (BORGATTO, 2006).

É feito através de uma rede de drenagem adequada, evitando que os gases escapem através dos meios porosos que constituem o subsolo e atinjam fossas, esgotos e até edificações. Os drenos são compostos, na maioria dos casos, por uma coluna de tubos perfurados de concreto armado envoltos por uma camada de brita ou rachão, que é fixada à coluna de tubos através de uma tela metálica, como na Figura 17 (SILVA, 2019).

Figura 17 - Dreno de gás envolto com brita de um aterro.



Fonte: SOARES (2018)

A captura desse gás nos aterros sanitários pode trazer grandes vantagens ambientais e econômicas, pois além de reduzir as emissões dos gases de efeito estufa à atmosfera, pode ser aproveitado para a geração de energia, principalmente por se tratar de um gás de grande poder calorífico. O objetivo do aproveitamento energético do biogás produzido pela degradação dos resíduos é convertê-lo em uma forma de energia útil tais como: eletricidade, vapor, combustível para caldeiras ou fogões, combustível veicular ou

para abastecer gasodutos com gás de qualidade. (SILVA, 2019). A Figura 18 a seguir mostra uma das principais usinas termoeletricas que estão em funcionamento no Brasil, localizada em Belo Horizonte, Minas Gerais.

Figura 18 - Reaproveitamento de biogás do Aterro Sanitário de Belo Horizonte.



Fonte: CATAPRETA e SIMÕES (2016)

4.1.4 Drenagem Superficial

Tanto durante a fase de operação de um aterro sanitário quanto após o seu encerramento, deve existir uma preocupação com as águas provenientes da chuva. O motivo para tal é que, quando as águas pluviais infiltram no corpo de resíduos, a produção de chumbo aumenta significativamente, o que acarreta em maiores gastos com o tratamento do mesmo. Além disso, o excesso de líquido dentro do maciço pode levar à formação de bolsões, o que acarreta no surgimento de poropressões induzidas e que podem causar a instabilidade da célula. Ainda, ao escoar pela superfície do aterro, a água carrega partículas de solo, levando à erosão da camada de cobertura e, conseqüentemente, à maior infiltração da chuva na massa de lixo (OLIVEIRA, 2002).

O sistema de drenagem de águas pluviais instalados nos aterros sanitários normalmente é constituído por canaletas de berma, descidas d'água nos taludes, caixas de passagem, bacias de dissipação, escadas hidráulicas, entre outros elementos (BORGATTO, 2006). Na Figura 19 observa-se um dos elementos de drenagem superficial de um aterro sanitário.

Figura 19 - Parte do sistema de drenagem superficial de um aterro.



Fonte: SOARES (2018)

4.1.5 Cobertura intermediária e final

O sistema de cobertura de um aterro sanitário pode ser dividido em duas fases: cobertura intermediária e cobertura final.

A primeira fase é chamada recobrimento diário que tem como objetivo evitar o arraste de detritos pelo vento, o aparecimento de vetores e a minimização da exalação de odores e risco de queima. Segundo Borgatto (2006), a camada superficial é composta por um solo vegetal não compactado com espessura variando entre 0,15 a 0,60 m. Abaixo desta segue uma camada de solo compactado para proteção, uma camada de material drenante em material granular ou geossintético, uma camada de impermeabilização (barreira hidráulica) podendo ser um liner argiloso e/ou geossintético, uma camada para a coleta de gás semelhante à camada drenante e uma camada de regularização.

Já a cobertura final tem como objetivo minimizar a infiltração de águas provenientes de precipitações, impedir o escape de gases e propiciar a plantação de vegetação, além das funções citadas para o recobrimento diário (OLIVEIRA, 2002). Além disso, ao se encerrar uma célula de um aterro, a camada de cobertura final dos resíduos, também tem função de proteger a atmosfera do contato com o lixo, reduzir a presença de odores e de vetores de doença, e de evitar o arraste de detritos pelo vento.

4.1.6 Monitoramento e Encerramento

Aterros Sanitários são estruturas que demandam acompanhamento contínuo ao decorrer de seu procedimento. Dessa forma, o sistema de monitoramento de um aterro sanitário pode ser dividido em monitoramento ambiental e geotécnico. O primeiro consiste principalmente na análise da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, qualidade do ar e lixiviado e o segundo tem como função permitir a análise da estabilidade do maciço do aterro, bem como acompanhar os deslocamentos progressivos (SOARES, 2018).

Nesse contexto, os monitoramentos geotécnico e ambiental de um aterro sanitário são realizados por meio dos resultados das observações de campo, da análise da instrumentação instalada e das análises físico-químicas e microbiológicas em amostras de águas superficiais e subterrâneas, e em amostras de líquidos lixiviados. São monitoradas ainda as condições de qualidade dos solos e do ar (CATAPRETA e SIMÕES, 2016).

A gestão de aterros fechados inclui tipicamente o monitoramento de emissões potenciais (lixiviado e gás) e de sistemas que são impactados com o transporte dos efluentes (águas subterrâneas, águas superficiais, solo e ar). Esse controle não deve ser ignorado após o fim da operação, visto que processos de degradação química e biológica do lixiviado não cessam com o fechamento, e as emissões podem continuar gerando impacto ambiental (RIGHI, 2017).

O monitoramento requer identificar hidrogeologia, caracterizar a qualidade das águas subterrâneas e avaliar o potencial poluidor dos contaminantes no lixiviado (SIZIRICI e TANSEL, 2015 *apud* RIGHI; FAYER; SOARES, 2018).

As inspeções de campo devem ser realizadas regularmente durante todo o período de operação do aterro sanitário e após o seu encerramento. Tratam-se de avaliações visuais que têm como objetivo verificar as condições dos sistemas de drenagem de águas pluviais, o controle de processos erosivos, ocorrência de trincas nos taludes, dentre outras (CATAPRETA; SIMÕES, 2016).

O monitoramento na fase de pós-fechamento dos aterros é praticamente inexistente no Brasil. Na norma NBR 8419 da ABNT (1992), algumas informações são expostas em relação ao plano de encerramento do aterro e cuidados posteriores. Segundo

a norma, deverá haver um plano indicando como e quando o aterro sanitário será dado como encerrado, assim como os cuidados que serão mantidos após o encerramento das atividades (SOARES, 2018).

4.2 Maciços de RSU e estabilidade dos maciços dos aterros

No Brasil, os aterros sanitários recebem alto teor de matéria orgânica, já expostos no estudo em questão, representando mais de 50% da massa total de resíduos. A expressiva parcela de orgânicos é responsável pela alta geração de biogás e lixiviado e traz consequências para tais obras. Ademais, os maciços recebem os resíduos com alto grau de adensamento, mesmo compactado e uma grande variação de tipos de resíduos.

Os primeiros estudos sobre as características geomecânicas de resíduos sólidos no país foram realizados no final da década de 1990 e início de 2000. Com a evolução dos estudos, sabe-se que a compressibilidade se deve não somente a processos mecânicos e biológicos, mas também ao transporte de gases e líquidos no interior do maciço de resíduos, e que cada um desses processos influencia um ao outro direta ou indiretamente (ELK; CORRÊA; RITTER, 2019). O lixiviado e o biogás gerados internamente estão sempre em movimento, nesse sentido, os gases tendem a subir e o líquido a descer, ambos formando bolsões.

4.2.1 Influência das propriedades dos resíduos na estabilidade dos maciços

Composição gravimétrica

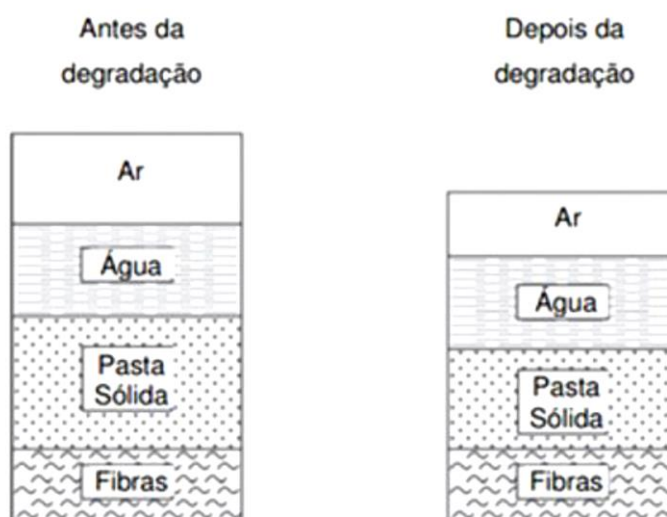
O conhecimento da composição física dos RSU, em relação aos percentuais de matéria orgânica e de plásticos/têxteis tem relação direta com a resistência ao cisalhamento dos resíduos. Os plásticos e têxteis que constituem os principais componentes fibrosos do lixo, conferem a estes valores de coesão muitas vezes elevados. Conhecer a proporção de matéria orgânica é de extrema importância pois influencia na quantidade de chorume e gás produzidos e está diretamente vinculado ao teor de umidade, à permeabilidade e ao peso específico da massa de resíduo. Teores de umidade mais elevados remetem a coeficientes de permeabilidade e pesos específicos mais baixos que são parâmetros de grande importância em projetos e operações de aterros sanitários (BORGATTO, 2006).

Composição granulométrica

O RSU, do mesmo modo que o solo, é composto das três fases (sólida, líquida e gasosa), como mostra a Figura 20. No entanto, a variação dessas fases ao longo do tempo é diferente devido aos processos de biodegradação, que transformam a matéria orgânica em fases líquida e gasosa (OLIVEIRA *et al.*, 2018). A composição granulométrica dos RSU os caracteriza como um material predominantemente granular que apresenta elevado percentual de frações grosseiras (tamanho correspondente a pedregulhos) e estas características granulométricas podem ser acentuadas caso o sistema de drenagem interna do aterro seja eficiente, ou seja, não havendo acúmulo de efluentes líquidos e gasosos.

Segundo Borgatto (2006), caso a drenagem interna seja ineficiente ou inexistente, a dificuldade na eliminação dos efluentes poderá gerar regiões com massas orgânicas muito moles., o que irá comprometer a estabilidade do maciço.

Figura 20 - Três fases dos resíduos e como a matéria orgânica se comporta após a degradação.



Fonte: RIGHI, 2019

Teor de Umidade

Depende de vários fatores como composição gravimétrica, distribuição granulométrica, grau de degradabilidade dos componentes orgânicos, condições climáticas na fonte geradora e local de disposição, procedimentos operacionais e a eficiência do sistema de drenagem de chorume e gases no aterro (BORGATTO, 2006).

Esse parâmetro é de grande importância para a análise de estabilidade dos maciços de lixo, pois quanto maior o teor de umidade, maior será o desenvolvimento de poropressões na massa de resíduos e, conseqüentemente, menor será a tensão efetiva desta massa, resultando em menores valores de resistência ao cisalhamento (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Peso Específico

É um dos parâmetros geotécnicos mais relevantes fornecendo importantes informações para previsão da vida útil e estabilidade. O valor do peso específico está diretamente ligado à sua composição gravimétrica sendo que quanto maior for à quantidade de componentes leves (papel, papelão, plásticos, etc) ou quanto menor for à quantidade de matéria orgânica, menor será seu valor (BORGATTO, 2006). Ademais, sabe-se que uma compactação apropriada tem a capacidade de aumentar o peso específico e modificar os parâmetros geotécnicos dos resíduos e, dessa forma, modificar a resistência ao cisalhamento desses materiais (SOARES, 2018).

Permeabilidade

É influenciada por fatores como o aterramento e grau de compactação, composição e idade dos resíduos. Por representar o tempo necessário para que um líquido percorra os vazios de uma massa de solo ou de resíduos, é uma importante característica hidráulica por causa da migração incontrolada do chorume e do problema de estabilidade. A tensão efetiva que comanda a resistência depende da pressão neutra, que por sua vez depende das tensões provocadas pela percolação de líquidos dentro do meio poroso (SILVEIRA, 2004 *apud* OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Compactação

A compactação dos RSU é um processo manual ou mecânico que visa a redução do índice de vazios ou aumento da massa específica seca do material, exercendo influência na resistência, estabilidade e compressibilidade, e sendo dependente de fatores como a classificação dos componentes, espessura da camada a ser compactada, massa e tipo de compactação realizada (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

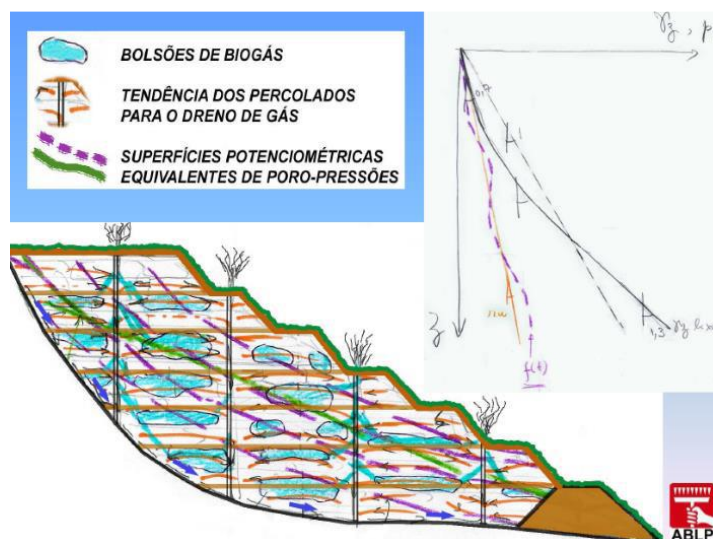
Poropressão

A poropressão corresponde à parcela da tensão total que se desenvolve na água presente nos vazios, ocorrendo somente quando a água que enche todos os vazios está

sob a ação da gravidade, que é o caso de solos submersos ou com ocorrência de água livre, ou quando a água está sujeita à pressão externa, que pode ser pressão de adensamento ou pressão de percolação (MARANGON, 2013).

Em relação aos aterros sanitários, a preocupação com a poropressão é ainda maior, uma vez que, além da água que infiltra no maciço pelo sistema de cobertura, durante o processo de biodegradação do lixo, são gerados líquidos e gases que, se não drenados corretamente, também exercem pressão internas na massa de resíduos.

Figura 21 - Bolsões de líquidos e gases formados no interior do maciço.



Fonte: RIGHI (2019)

4.2.2 Parâmetros de resistência dos resíduos sólidos

Os parâmetros de resistência dos resíduos são o ângulo de atrito e coesão, que podem variar de acordo com composição, idade, profundidade, grau de compactação, índice de vazios, etc (RIGHI, 2019).

Para a obtenção desses parâmetros são realizados ensaios de laboratório, como cisalhamento direto, ou ensaios de campo, como SPT (ensaio de penetração). A execução de ensaios de laboratório não é fácil de se realizar devido à dificuldade na coleta e obtenção de amostras representativas, à heterogeneidade do material e ao tamanho de alguns materiais presentes no lixo. Logo, para a realização desses ensaios são necessários equipamentos compatíveis com a realidade encontrada. Já os ensaios de campo são dificultados pela presença de grandes obstáculos no perfil do aterro. O número de ensaios disponíveis para esse tipo de material é pequeno e possui uma grande variação, mostrando

que fazer uma estimativa desses parâmetros não é a forma mais adequada, pois nem sempre condiz com a realidade. A variação desses parâmetros com o passar do tempo é outro complicador, pois ainda não se sabe de forma concreta como se dá essa variação (NETO, 2004).

Vale ressaltar que nos projetos de aterros elaborados no Brasil, é comum a utilização de parâmetros presentes na literatura, já que a realização de ensaios específicos para o local onde será o empreendimento não é comumente feita (OLIVEIRA, 2002). Até o início da década passada os parâmetros de resistência utilizados foram importados de aterros europeus, no entanto, eles não são compatíveis com as características diferenciadas dos resíduos e do clima brasileiro (RIGHI, 2019).

Nesse sentido, definir os parâmetros (coesão e ângulo de atrito) para os RSU pode ser uma tarefa bastante difícil principalmente devido ao desconhecimento da variação de comportamento do maciço e do tempo de degradação dos resíduos (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

4.2.3 Comportamento da matéria orgânica nos maciços de resíduos

A majoritária parcela orgânica que chega nos aterros sanitários apresenta, ao longo do tempo, expressiva geração de biogás e lixiviado. Nesse contexto, no que se refere ao biogás, ocorre o aumento das pressões internas, na medida em que há o aprisionamento ou dificuldade do mesmo ser drenado. Esta pressão se dissipa à medida que o biogás percola pelos vazios dos sólidos, sendo drenado pelo sistema de drenagem ou percolado pela camada de cobertura do aterro. Esse fenômeno se apresenta de forma intermitente, com intervalos de tempo irregulares, com oclusões dos líquidos, que se rearranjam por forças de campo. Tem-se a impressão que o aterro “respira”, ou seja, “inspira” por geração interna do biogás e suas conseqüentes pressões, e “expira” o biogás, percolando e desviando das oclusões dos “bolsões” de líquidos (BENVENUTO e CIPRIANO, 2010).

Concomitantemente, os líquidos percolam para cotas inferiores, lixiviando os resíduos, abastecendo as bactérias e gerando o chamado “chorume”, sendo posteriormente coletado e tratado.

Essas pressões de líquidos e gases atuam no maciço sólido como pressões internas, as chamadas poropressões, forçando e direcionando a movimentação de gases e líquidos pela massa de resíduos. Os gases são formados, principalmente, na fase da “pasta sólida”,

em pontos indistintos dos resíduos. Os líquidos sofrem as forças de campo e tendem a “descer” e os gases (biogás) tendem a “subir” por efeito da convecção. Nesse cruzamento de rotas os bloqueios e impedimentos de movimentação assumem posições transitórias na massa, criando os bolsões de líquidos e gases, de dimensões e tempo de existência variável. Esse efeito que estabelece o princípio do comportamento das poropressões influenciam em sua estabilidade (BENVENUTO; CIPRIANO, 2010).

Ademais, a escassez de áreas adequadas à disposição de resíduos cria a necessidade de aumento da capacidade volumétrica de aterros sanitários em operação, ou de reutilização de antigas áreas de disposição encerradas. Com isso, tem-se construído aterros cada vez mais altos, reduzindo o problema da demanda de resíduos e, por outro lado, gerando preocupações quanto à estabilidade destes maciços (REMÉDIO, 2014). E devido a essa tendência de verticalização dos aterros, com taludes de lixo cada vez mais altos, cresce a preocupação com o recalque das células. No que se refere à matéria orgânica, a grande proporção dos recalques formados, principalmente os secundários, em sua maioria deve-se à decomposição dessa fração, podendo durar décadas. Esses recalques representam o maior percentual de compressão nos aterros e podem afetar a segurança da obra, visto que a maior parcela dos resíduos é representada pela fração orgânica. Os fatores que afetam a magnitude e a velocidade de recalques em resíduos sólidos são densidade inicial, quantidade de matéria orgânica, altura e sobrecarga adicional, nível de lixiviados e fatores ambientais, como umidade, temperatura e produção de biogás (ELK; CORRÊA; RITTER, 2019).

5 COMPOSTAGEM

5.1 Histórico

Há milhares de anos, as pessoas sobreviviam no planeta caçando, coletando frutas, folhas e raízes: eram nômades que não possuíam vínculo com algum lugar específico. Entre 12.000 e 10.000 anos atrás, alguns grupos de diferentes partes do planeta perceberam que era possível enterrar grãos para produzir novas plantas comestíveis, dando início à prática da agricultura. Desde então, começaram a cultivar seus próprios alimentos e criar animais, tornando-se agricultores (ABREU, 2017).

Em algum momento da agricultura antiga, foi observada a existência de um fenômeno natural de fertilização do solo. A fertilização se inicia, por exemplo, quando uma folha cai no solo e se mistura com fezes de aves ou de qualquer outro animal, com folhas, frutos, galhos e que, sofrendo a influência das condições climáticas, dá início à decomposição e reciclagem natural da matéria orgânica. Nesses locais, as bactérias, fungos, formigas, minhocas e outras formas de vida se desenvolvem, gerando húmus, que devolve os nutrientes à terra e os disponibiliza para as plantas. Nesse contexto, supõe-se que os antigos agricultores, ao observarem esse processo, passaram a recolher o húmus fértil encontrado sob as árvores, vales e outros locais onde naturalmente se depositava matéria orgânica, transportando-o para os locais de cultivo. Imagina-se que, aos poucos, passaram intuitivamente a imitar o processo, misturando diferentes materiais, como folhas, restos de frutas, fezes de animais, deixando esse material por um tempo em repouso para, então, aplicá-lo na agricultura (ABREU, 2017).

Nesse sentido, esta é uma das hipóteses de como o homem foi apreendendo o processo natural de reciclagem de matéria orgânica, passando a reproduzi-lo de acordo com suas necessidades, dando origem ao processo que atualmente chamamos de compostagem. Dessa forma, tal prática não é um processo recente de tratamento de resíduos orgânicos. É uma prática menos complexa quando comparada à outras e intuitiva, que a humanidade pratica há milênios, porém, até recentemente de forma empírica. Os povos orientais, gregos e romanos já sabiam que os resíduos orgânicos poderiam contribuir com a fertilidade do solo. Somente a partir de 1920 é que o processo começou a ser estudado cientificamente e aplicado de forma racional por Alberto Howard. Hoje esta tecnologia pode ser utilizada em escala industrial, graças aos avanços dos

trabalhos científicos que lançaram base para o desenvolvimento da técnica (FERNANDES; SILVA, 1996 *apud* BERTICELLI; PANDOLFO; KORF, 2017).

Com o advento da sociedade de consumo, que começou a gerar grandes quantidades de resíduos inorgânicos (como plásticos), manejar os resíduos passou a ser mais complexo. Os grandes marcos dessa mudança foram a Revolução Industrial e a utilização do petróleo na produção de materiais. Outros materiais além dos orgânicos, como vidro, metal e papel, são usados pela humanidade há séculos, mas, após a Revolução Industrial, a produção e a utilização de materiais inorgânicos se intensificaram e se diversificaram. Estes materiais não se degradam facilmente na natureza e sua destinação passou a ser um problema ambiental muito sério (ABREU, 2017).

Além disso, com o crescimento das vilas e cidades, grande parte da população foi deixando de plantar e, dessa forma, não encontrava mais utilidade para aplicar o composto no seu novo estilo de vida. Assim, o reaproveitamento dos resíduos orgânicos foi perdendo importância, passando a serem descartados misturados aos resíduos inorgânicos (ABREU, 2017).

5.2 Definição de Compostagem

A norma NBR 13591:1996 define compostagem como “Processo de decomposição biológica da fração orgânica biodegradável dos resíduos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições controladas de aerobiose e demais parâmetros, desenvolvido em duas etapas distintas: uma de degradação ativa e outra de maturação” (ABNT, 1996). Como resultado final deste processo é gerado um substrato de alto valor químico-físico-biológico, o qual pode ser utilizado como fertilizante orgânico para os mais diversos fins, como jardinagem, cultivo de plantas medicinais, entre outros (PIRES e FERRÃO, 2017).

Esta prática constitui uma das melhores alternativas para o tratamento de resíduos orgânicos, porque transforma uma externalidade negativa em positiva: sob o manejo adequado produzindo adubo com grande potencial para uso agrícola e para recuperação de solos degradados (MELO e DUARTE, 2018).

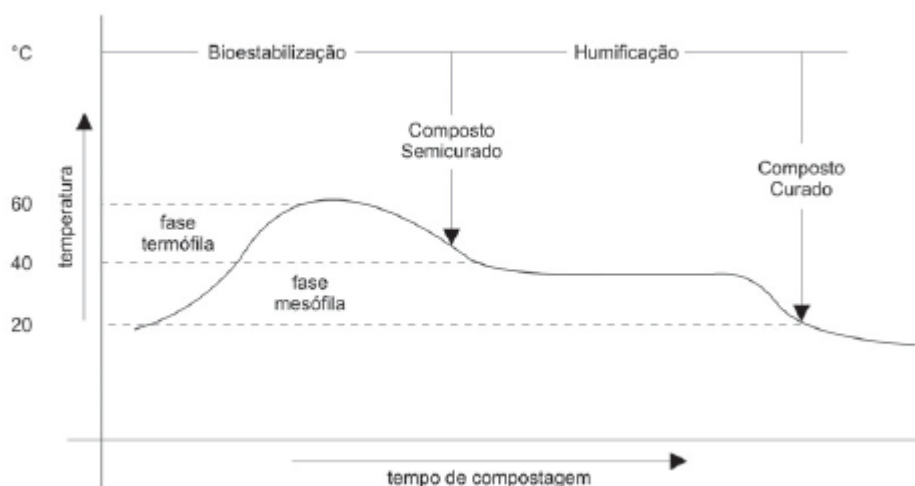
Devido ao seu potencial de reaproveitamento, resíduos orgânicos não deveriam nunca ser encaminhados para a disposição final em aterros ou lixões (SIQUEIRA e ABREU, 2016). A compostagem constitui uma alternativa de gestão do resíduo sólido,

que evita a formação de geração de gases e chorume durante sua degradação quando depositados em aterros sanitários. É um processo a partir da mistura de teores e granulometria adequada de matéria orgânica rica em Carbono, como restos de poda, com matéria orgânica rica em Nitrogênio, como esterco e restos de alimento, na presença de oxigênio atmosférico (BARROS, 2012 *apud* FERLA, 2016).

A valoração dos resíduos orgânicos pode auxiliar na resolução de graves problemas ambientais, como degradação do solo, erosão e mudanças climáticas, além de desviar grande quantidade desses resíduos encaminhada a aterros sanitários e lixões no Brasil. Tanto as cidades quanto as empresas e a agricultura são amplamente beneficiadas ao considerar seus resíduos sólidos orgânicos como um “recurso” precioso, convertendo-o em adubo e/ou energia, gerando empregos e contribuindo para a redução dos custos de sua disposição (ZAGO e BARROS 2019).

5.3 Fases da Compostagem

O processo de compostagem é desenvolvido por uma população diversificada de microrganismos e envolve duas fases distintas. Ao longo do processo é possível observar que na primeira fase de degradação rápida, também chamada de bioestabilização, ocorre intensa atividade microbiológica e rápida transformação da matéria orgânica, predominantemente reações termofílicas. Nesta fase, há elevação da temperatura, que pode chegar a cerca de 60°C e grande consumo de oxigênio pelos microrganismos. As mudanças são visíveis na massa de resíduos e ela se torna escura, porém o composto ainda não está pronto para ser utilizado. Na fase seguinte a atividade biológica é pequena e o processo ocorre à temperatura ambiente (cerca de 25° a 30°C) com transformações de ordem química, predominando as reações mesofílicas. É a chamada fase de maturação ou humificação, quando o composto já está apto a ser disposto no solo (FERNANDES e SILVA, 2000; JUCÁ *et al.*, 2014). O gráfico a seguir (Figura 22) mostra como a curva de temperatura se comporta ao longo dos dias para formação do composto.

Figura 22 - Fases da compostagem.

Fonte: D´ALMEIDA e VILHENA (2000)

Como se trata de um processo basicamente termofílico e mesofílico, são necessários alguns cuidados como manter a temperatura entre os padrões máximos e mínimos para que não afetem os microrganismos decompositores. Além disso, manter a umidade dentro dos limites adequados é essencial para eficiência dos microrganismos (SILVA, 2016).

À medida em que o processo de compostagem se inicia, há proliferação de populações complexas de diversos grupos de microrganismos (bactérias, fungos, actinomicetos), que vão se sucedendo de acordo com as características do meio. De acordo com suas temperaturas ótimas, estes microrganismos são classificados em psicrófilos (0 – 20°C), mesófilos (15 – 43°C) e termófilos (40 - 85°C).

Para que todo ciclo esteja completo são necessários aproximadamente de 90 a 120 dias após mistura dos materiais orgânicos (dependendo da relação C: N do resíduo), tendo como resultado um composto normalmente escuro e de textura turfa, utilizado como condicionador de propriedades físicas e biológicas do solo, assim como, um composto fertilizante que fornece os nutrientes essenciais para o suprimento das plantas (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008). Ele pode então, se houver interesse, ser peneirado e acondicionado adequadamente para ser transportado e comercializado.

5.4 Fatores que influenciam no processo da Compostagem

Como no processo da compostagem há ação dos microrganismos sobre a matéria orgânica, os fatores que afetam este processo são aqueles que influenciam, direta ou indiretamente, a população variada de organismos necessária para a decomposição (COSTA *et al.*, 2015).

Nesse contexto, o processo é bastante prático, porém, requer atenção e controle dentro das condições ideais (aeração, pH, umidade, temperatura, tamanho das partículas, compostos orgânicos e os nutrientes disponíveis) de modo que os microrganismos decompositores de desenvolvam. Assim, a matéria orgânica é o alimento neste processo e, conforme a característica do ambiente, o tempo de duração do processo de decomposição dos resíduos dependerá da qualidade da matéria orgânica utilizada. Isto pode variar de poucos dias até semanas (SCHLOTTFELDT, 2013).

5.4.1 Aeração

Como a compostagem é um processo biológico, aeróbio e controlado, depende de oxigênio no meio para que seu desenvolvimento corresponda as expectativas primárias (SILVA, 2016).

Nesse contexto, o arejamento da massa de compostagem é fundamental para uma boa eficiência do processo, pois os microrganismos aeróbicos precisam de oxigênio para efetuar seu metabolismo. Durante a compostagem, a demanda por O₂ pode ser bastante elevada e a falta deste elemento pode se tornar em fator limitante para a atividade microbiana e prolongar o ciclo de compostagem (FERNANDES e SILVA, 2000). Com abundância de ar, a decomposição é mais rápida, controlada, evitando o excesso de temperatura e umidade, e também o mau cheiro. As pilhas do composto podem ser arejadas por revolvimentos manuais ou mecânicos, fazendo com que camadas mais externas passem a ocupar a parte interna. O fornecimento de oxigênio também pode ser feito por insuflação de ar (KIEHL, 1985 *apud* COSTA *et al.*, 2015).

Além disso, níveis inadequados de oxigenação podem levar ao crescimento de microrganismos anaeróbios, causando assim formação de gases de cheiro desagradável. Ao contrário, uma oxigenação adequada minimiza este inconveniente (RUSSO, 2003).

Com relação às fases do processo, no período inicial, na fase de degradação rápida, onde a atividade microbiana é intensa, a aeração é fundamental. Já na segunda fase, a maturação, a atividade microbiana é menor, logo a necessidade de aeração diminui.

5.4.2 pH

O processo de compostagem é relativamente pouco sensível aos valores de pH, pois a matéria orgânica com pH variável entre 3 e 11 pode ser compostada. No entanto, valores próximos a neutralidade são considerados ideais (5.5 a 8) por que é onde os microrganismos melhor se adaptam (RUSSO, 2003). No início do processo, o pH atinge valores baixos, próximos a 5, próprio da ação das bactérias, e ao longo do processo com estabilização do composto vai atingindo valores entre 7 e 8 (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008). Nesse sentido, os microrganismos do meio se encarregam de regular os valores máximos e mínimos da compostagem (PEREIRA NETO, 2010 *apud* SILVA, 2016).

5.4.3 Umidade

Por ser a compostagem um processo biológico de degradação da matéria orgânica, a presença de água é fundamental para as necessidades fisiológicas dos microrganismos (COSTA *et al.*, 2015). Tal parâmetro é variável ao longo do processo devido a vários fatores, como: tipo de matéria orgânica, tamanho das partículas, configuração geométrica da leira de compostagem, peso específico da massa de compostagem, sistema e forma de aeração, entre outros (RUSSO, 2003).

No composto, o teor ótimo de umidade, de modo geral, situa-se entre 50 e 60%. O ajuste da umidade pode ser feito pela criteriosa mistura de componentes (secos) ou pela adição de água. Na prática se verifica que o teor de umidade depende também da eficácia da aeração, das características físicas dos resíduos (estrutura, porosidade). Elevados teores de umidade (>65%) fazem com que a água ocupe os espaços vazios do meio, impedindo a livre passagem do oxigênio, o que poderá provocar aparecimento de zonas de anaerobiose. Se o teor de umidade de uma mistura é inferior a 40% a atividade biológica é inibida, bem como a velocidade de biodegradação (FERNANDES e SILVA, 2000).

5.4.4 Temperatura

A temperatura é um dos fatores mais importante na compostagem, pois indica o bom funcionamento ou não do processo (SILVA, 2016).

Altas temperaturas são necessárias para a compostagem, no entanto, precisa ser mantida uma temperatura ótima de desenvolvimento para os microrganismos, em média 55° C, pois uma variação para mais ou para menos provoca uma redução da população e da atividade metabólica (RUSSO, 2003).

Desse modo, se o composto registrar temperatura da ordem de 40-60°C no segundo ou terceiro dia é sinal que o ecossistema está bem equilibrado e que a compostagem tem todas as chances de ser bem-sucedida (FERNANDES e SILVA, 2000). Temperaturas acima de 70°C são consideradas desnecessárias e até desaconselháveis por longos períodos, pois limita o número de microrganismos que conseguem viver nela. Até certo valor, a temperatura influencia a velocidade de degradação da matéria orgânica, após esse é prejudicial porque os elimina. O excesso de temperatura também pode impedir a ação de enzimas, retardando a atividade dos microrganismos e, conseqüentemente o processo de compostagem (RUSSO, 2003).

Atualmente, a aeração também é usada como meio de controlar a temperatura. Em certos casos o insuflamento de ar comprimido na massa do composto pode ser de 5 a 10 vezes maior do que o estritamente necessário à respiração microbiana, tendo assim a função de dissipar o calor liberado no processo (FERNANDES e SILVA, 2000).

5.4.5 Relação Carbono/Nitrogênio

Os microrganismos necessitam de carbono, como fonte de energia, e de nitrogênio para síntese de proteínas. É por esta razão que a relação C/N é considerada como fator que melhor caracteriza o equilíbrio dos substratos (FERNANDES e SILVA, 2000).

A relação apropriada de carbono e nitrogênio contribui para o crescimento e atividade das colônias de microrganismos envolvidos no processo de degradação da matéria orgânica, possibilitando a produção do composto em menos tempo (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008).

Esses microrganismos absorvem o carbono e o nitrogênio numa proporção de 30 partes do primeiro para uma parte do segundo, sendo, portanto, a proporção ideal nos resíduos (FERNANDES e SILVA, 2000). No entanto, consideram-se os limites de 26/1 a 35/1 como sendo as relações C/N mais recomendadas para uma rápida e eficiente compostagem (COSTA *et al.*, 2015). Se os resíduos utilizados para a compostagem apresentarem baixa relação C/N, perdem nitrogênio na forma amoniacal, prejudicando a

qualidade do composto. Nesse caso, recomenda-se juntar restos vegetais celulósicos, como resíduos de podas e jardinagem, para elevá-la a um valor próximo do ideal. Se a matéria prima possui relação C/N alta, o processo torna-se lento e o produto final apresentará baixos teores de matéria orgânica. Para corrigir basta acrescentar materiais ricos em nitrogênio tais como esterco, camas animais, tortas vegetais, etc. (RUSSO, 2003).

5.4.6 Granulometria do material

A dimensão das partículas é característica fundamental para o bom andamento da compostagem, pois o tamanho delas irá definir a superfície de exposição para o ataque dos microrganismos. Quanto maior a superfície de exposição, menor a partícula da matéria orgânica e mais rápida será sua decomposição (COSTA *et al.*, 2015). No entanto, granulometrias muito finas, < 2 mm, dificultam a aeração por facilitar a compactação, enquanto que acima de 16 mm facilitam o arejamento natural (RUSSO, 2003). Então, deve-se encontrar um valor que considere a aeração e a superfície de exposição. As dimensões das partículas utilizadas na compostagem não podem ultrapassar 3 cm de diâmetro (COSTA *et al.*, 2015).

5.5 Tipos de Compostagem

O processo de compostagem pode ser conduzido de diversas maneiras, desde as formas mais simples, representadas por sistemas manuais, até sistemas mais complexos que abrangem o processamento de grandes quantidades de resíduos (LEITE, 2015).

Ademais, quanto aos organismos utilizados no processo, pode ser de forma natural pelos microrganismos ou pelas minhocas, a chamada vermicompostagem. Nesse contexto, a última é um tipo de compostagem onde minhocas são utilizadas para a digestão da matéria orgânica através da microflora presente em seus tratamentos digestivos, ocasionando degradação da matéria orgânica, maior arejamento e drenagem do material em fase de maturação (GUERMANDI, 2015). O processo de compostagem natural combinado com a ação das minhocas acelera o processo e altera, qualitativamente e quantitativamente, a composição das substâncias húmicas dos materiais orgânicos. Diferentemente da compostagem por microrganismos, onde há a necessidade de aeração, na vermicompostagem as minhocas realizam essa função. A espécie mais utilizada é a minhoca vermelha da Califórnia, *Eisenia foetida* (Figura 23) e possui alto custo. As

minhocas californianas toleram grande variação na temperatura (0° C a 35° C) e na umidade (70% a 90%) e possuem acelerada reprodução, características essenciais para sobreviverem no ambiente da composteira. Entretanto, alguns pontos devem ser destacados como a necessidade de um maior cuidado no que se refere à seleção dos resíduos colocados na composteira, além do devido monitoramento dos parâmetros como temperatura, pH e umidade afim de manter as condições apropriadas para a função das minhocas.

Figura 23 - Minhocas californianas utilizadas na vermicompostagem.



Fonte: <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/67-dia-a-dia/3595-dicas-alimentar-minhocas-californianas-composteira-compostagem-vermicompostagem.html>

No que se refere à grandes volumes, os geradores como prefeituras, instituições e propriedades rurais utilizam os sistemas de 4 grandes grupos: sistemas de leiras revolvidas (*windrow*), sistema de leiras estáticas aeradas (*static pile*), sistemas fechados ou reatores biológicos (*In-vessel*) e biodigestores (sistema anaeróbio).

O método *windrow* consiste em uma pilha de materiais orgânicos ao ar livre, deixando o sistema exposto às intempéries, onde a aeração ocorre por revolvimento, por meio de pá ou tratores específicos. Necessita de grandes áreas e as dimensões das leiras variam de acordo com o volume colocado. O sistema de leiras estáticas aeradas é similar, apresentando a diferença no processo de aeração. As leiras são preparadas sobre uma rede tubular perfurada que fornece ar por aspiração ou insuflação e torna-se viável a execução do processo em áreas cobertas, diminuindo os problemas relacionados ao clima (LEITE, 2015). A compostagem realizada em reatores biológicos oferece a possibilidade de maior controle dos parâmetros importantes para o processo por ser um sistema fechado e, dessa forma é um processo acelerado. Com relação à aeração, é monitorada mais facilmente, resultando em subprodutos de maior qualidade. Os biodigestores são sistemas anaeróbios

(sem presença de oxigênio) e fechados decompõe a matéria orgânica transformando-a em biogás e biofertilizante. O biogás pode ser reaproveitado para geração de energia.

O enfoque do estudo é a compostagem de volumes reduzidos, que pode ocorrer de diversas formas, em casa ou apartamento. Para pequenos geradores de resíduos orgânicos que possuem restrição de espaço existem alguns modelos caseiros como a compostagem no quintal ou jardim, a compostagem automática e a compostagem aeróbia.

A compostagem no quintal ou jardim pode ser feita abrindo um buraco na terra de aproximadamente 30cm de profundidade e 0,5m² e cercado a área em contato com a terra com arame, tábuas ou troncos. Depois disso, deve ser depositado o material orgânico no espaço delimitado diariamente, cobrindo a superfície com serragem ou outro material seco quinzenalmente deve-se revirar o material para aeração e em cerca de três meses se formará o adubo orgânico que poderá ser utilizado em hortas e plantas. A Figura 24 expõe duas alternativas que podem ser feitas no quintal ou jardim de casa.

Figura 24 - Composteiras caseiras no quintal ou jardim.



Fonte: <https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Sustentabilidade/noticia/2018/08/como-fazer-uma-composteira-domestica.html>

A compostagem automática é a forma mais rápida de se decompor o resíduo e obter o composto fertilizante. Além de receber resíduos orgânicos, também decompõe restos de alimentos como carnes, arroz, feijão, entre outros. O processador automático possui no seu interior microrganismos e composta em até 24 horas para transformação em adubo. A composteira é compacta possuindo menos de um metro de altura, 40cm de

largura e pode ser colocada em qualquer lugar da residência, além de ser movida a energia elétrica. O entrave encontrado para a disseminação dessa tecnologia é seu elevado preço, que faz com que os apreciadores da prática prefiram a composteira caseira tradicional. A Figura 25 mostra dois modelos de composteira automática disponíveis para compra.

Figura 25 - Modelos de composteiras automáticas encontrados no mercado.



Fonte: <https://engenharia360.com/compostagem-domestica-e-aposta-para-um-mundo-mais-sustentavel-conheca-algumas-opcoes/>

A compostagem aeróbia é a mais tradicional pela facilidade de execução e construção da composteira, sendo o foco do trabalho. É possível ser comprada ou feita artesanalmente. A Figura 26 mostra uma composteira doméstica existente no comércio. No tópico 5.9, será apresentado o passo-a-passo para a construção da composteira caseira, além da explicação do seu funcionamento, manutenção e cuidados.

Figura 26 - Composteira Humi.



Fonte: <https://www.ecycle.com.br/6030-composteira-humi.html>

5.6 Compostagem na Legislação Brasileira

A Lei nº 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, trouxe diversas diretrizes, objetivos e responsabilidades para toda a sociedade brasileira. No que tange aos resíduos orgânicos, implantar sistemas de compostagem e articular com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido são claramente estabelecidas como obrigações dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos, por meio do inciso V do artigo 36 (ABREU, 2017).

Quando a PNRS afirma que a prioridade é a reciclagem em relação à disposição final, significa dizer que a compostagem é favorita quando comparado ao aterro sanitário. E mais, que ela não permite a destinação de resíduos orgânicos para aterro sanitário, uma vez que averba que apenas o rejeito (termo que não remete a ideia de resíduo), ou seja, somente aquilo que não possui alternativa de uso, reuso ou reciclagem pode ser disposto em aterro sanitário. De forma explícita, a PNRS trata da questão da compostagem ao utilizar o termo “compostagem” no Capítulo II (definições) e no Capítulo III (responsabilidades dos geradores e do poder público). E, nitidamente, prioriza a compostagem em relação ao aterro sanitário, ao definir as diretrizes aplicáveis à gestão de resíduos sólidos da seguinte maneira: “Art. 9º Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).” Portanto, conclui-se que a PNRS não permite a destinação de resíduos orgânicos para aterro sanitário, pois estes

possuem alternativa de recuperação como, por exemplo, a reciclagem pela compostagem (PIRES e FERRÃO, 2017).

Desta forma, resíduos orgânicos não devem ser considerados indiscriminadamente como rejeitos, e esforços para promover sua reciclagem devem ser parte das estratégias de gestão de resíduos em qualquer escala (domiciliar, comunitária, institucional, industrial, municipal...).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, dentre as principais referências legais nacionais atualmente em vigor aplicáveis à reciclagem de resíduos orgânicos, a CONAMA n° 481 de 03 de outubro de 2017, destaca-se por estabelecer critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, visando à proteção do meio ambiente e buscando reestabelecer o ciclo natural da matéria orgânica e seu papel natural de fertilizar os solos além de outras providências. Ademais, existem outras leis em vigor destinadas à inspeção e fiscalização da produção e comércio do biofertilizante produto da compostagem, como o Decreto n° 4954 de 2004. No que tange às normas brasileiras, a NBR 13591:1996 já citada no estudo define os termos empregados exclusivamente em relação à compostagem de resíduos sólidos domiciliares (ABNT, 1996).

Já no âmbito estadual, as Políticas Estaduais de Resíduos Sólidos (PERS's) têm como objetivo orientar à gestão de resíduos sólidos nos estados e devem estar em consonância com a PNRS. A PERS é elaborada por cada estado, e não possui caráter legal obrigatório, porém sua elaboração possui potencial de contribuição na gestão local dos resíduos sólidos, refletindo a sua realidade e respeitando a diversidade existente. Cerca de 61% dos estados brasileiros possui o plano e tratam da compostagem de forma implícita, ou seja, os estados brasileiros que possuem esta Política abordam a questão da compostagem de maneira geral ao utilizar o termo reciclagem (PIRES e FERRÃO, 2017).

É evidente que as legislações atuais são generalizadas e ainda é algo inicial, em sua maioria não possuem critérios específicos e ações integradas acerca da prática de compostagem e apresentam diversas lacunas e problemáticas. Para o efetivo cumprimento da hierarquia da PNRS, as regulamentações do governo abrem para que cada estado ou município crie suas próprias diretrizes. À vista disso alguns municípios criaram suas próprias leis. Um exemplo, é o município de Florianópolis regulamentado pelo Decreto n° 20645/2019, estabelece a Lei n° 10.501 de 2019 que dispõe sobre a obrigatoriedade da

reciclagem de resíduos sólidos orgânicos no município, estabelecendo metas progressivas de porcentagem de destinação dos resíduos orgânicos obrigatoriamente para a compostagem até 2030.

O Diagnóstico do manejo de RSU do Sistema Nacional de Informações para Saneamento (SNIS), revelou que das 62,78 milhões de toneladas de resíduos coletados em 2018, ocorreu a recuperação de apenas 124 mil toneladas recebidas em 70 unidades de compostagem. Sendo essas, 50 estão localizadas na região Sudeste, 12 na região Sul e 4 na região Nordeste. Por sua vez a região Centro-Oeste informa 3 unidades e apenas 1 no Norte (BRASIL, 2019). Ao se observar a distribuição destas usinas no território brasileiro, pode-se constatar a heterogeneidade com que ocorre, uma vez que 90% do montante total das usinas de compostagem existentes estão concentradas nas regiões Sul e Sudeste (PIRES e FERRÃO, 2017). Esses resultados mostram uma deficiência do país nesse campo, em maior evidência ainda quando se admite que, como dito anteriormente, na massa de resíduos domiciliares, aproximadamente 50% são de matéria orgânica (BRASIL, 2019).

A PNRS adotou que atividades de compostagem pelos municípios é uma imposição legal, e não mais uma escolha tecnológica. Deriva do próprio espírito da lei, de privilegiar soluções que reduzam a disposição final dos resíduos sólidos, ainda que realizados de forma ambientalmente adequada (BRASIL, 2010). E para auxiliar no cumprimento de seus objetivos, a PNRS instituiu como instrumento o Plano Nacional de Resíduos Sólidos que estipula metas, estratégias e ações de apoio. O plano propôs metas para todo o país para redução de orgânicos destinados aos aterros, como está apresentado no Quadro 3. No que tange aos estímulos à compostagem, menciona a implantação de novas unidades (acompanhadas prioritariamente de coleta seletiva de resíduos orgânicos) e o aproveitamento da capacidade já instalada de unidades de compostagem (SANTOS, 2017). Além de citar estratégias descentralizadas e locais, como incentivo ao tratamento por compostagem domiciliar e suas modalidades (vermicomposteiras e composteiras) e incentivo aos grandes geradores para que destinem áreas específicas em seus estabelecimentos para a prática da compostagem; sugere também a implantação de hortas escolares e utilização do composto na agricultura urbana (SIQUEIRA e ASSAD, 2015). No entanto ainda se observa que este tratamento não é habitual.

Quadro 3 - Metas estabelecidas na redução de resíduos orgânicos dispostos em aterros.

PLANO DE METAS	2019	2023	2027	2031
Brasil	28%	38%	46%	53%
Região Norte	20%	30%	40%	50%
Região Nordeste	20%	30%	40%	50%
Região Sul	40%	50%	55%	60%
Região Sudeste	35%	45%	50%	55%
Região Centro Oeste	25%	35%	45%	50%

Fonte: MMA, 2012 *apud* MELO e DUARTE, 2018; adaptado de PNRS

Sobre o progresso no panorama de resíduos orgânicos nos últimos anos, apesar de apresentar diversas lacunas ao longo dos anos de 2002 a 2017, a quantidade de resíduos destinados à Unidades de Compostagem mostrou um aumento a partir do ano de 2008, quando o SNIS passou a ser respondido por uma quantidade crescente de municípios brasileiros. O pico de recebimento de resíduos em unidades de compostagem no estado de Minas Gerais se deu em 2011, após o sancionamento da Política Nacional de Resíduos Sólidos. No entanto, ainda há um baixo nível de recuperação dos recicláveis nas unidades de triagem e dos resíduos orgânicos nas unidades de compostagem, principalmente pela baixa adesão à coleta seletiva (BERSAN; KELMER; ALMEIDA, 2020).

Com base nesses dados é possível verificar que nos próximos onze anos teremos um desafio a enfrentar, uma redução significativa dos resíduos orgânicos dispostos nos lixões e aterros controlados; para assim, diminuir os impactos ambientais, aumentar a vida útil dos aterros e reduzir os gastos públicos com a destinação final dos resíduos. Tudo isso associado a conscientização e conhecimento da população e dos governantes em adotar a técnica de compostagem como outras técnicas sustentáveis para tratamento dos resíduos sólidos urbanos (MELO e DUARTE, 2018).

5.7 Compostagem ao redor do mundo

Os sistemas de compostagem de resíduos sólidos urbanos têm sido desenvolvidos e implantados ao redor do mundo com variados graus de estímulos. Diferentes tipos de sistemas de compostagem, tanto artesanais e/ou caseiros à tecnologia de alto custo, fechados ou abertos, de grande ou pequena escala, vêm sendo praticado em países desenvolvidos considerando a economia do processo, qualidade e benefícios socioambiental do produto e a demanda do mercado pelo composto produzido (MELO e DUARTE, 2018). Nos últimos anos, em países da União Europeia (EU) e Estados Unidos

(EUA), por exemplo, tem sido registrado aumento no volume de resíduos enviados à compostagem (SANTOS, 2017).

De maneira geral, pode-se dizer que o tratamento de RSU na Comunidade Europeia sofreu uma mudança significativa durante o período de 1995 a 2010. A União Europeia, com o passar dos anos, vem adotando medidas bem rígidas relativa a resíduos em geral. A Diretiva 75/442/CEE determinava que os Estados-membros adotassem as medidas necessárias para promover a prevenção, a reciclagem e a transformação dos resíduos, a obtenção a partir destes de matérias-primas e eventualmente de energia, assim como qualquer outro método que permita a reutilização dos resíduos. Ademais, a gestão de RSU na Europa vem sofrendo mudanças que podem ser atribuídas grande parte à legislação local. Destaca-se a Diretiva 1999/31/EC, que trata da disposição de resíduos em aterros. Essa lei determina metas progressivas de redução da disposição de matéria orgânica biodegradável diretamente nos aterros sanitários, que deveria ser de no máximo 35% da quantidade total dos resíduos orgânicos produzidos até 2016 (BLANCO, 2012 *apud* SANTOS, 2017).

Como resultado, a EU tem reaproveitado a matéria orgânica por compostagem, com crescimento de uma taxa média anual de 5,4% entre os anos de 1995 e 2016. Dessa forma, a reciclagem e compostagem juntos representaram em 2015 cerca de 45% da destinação final dos RSU. Com a larga evolução da gestão dos resíduos sólidos foram registrados índices em 2015 como 17% dos resíduos para compostagem, 26% para incineração e 25% destinado para aterros sanitários (EUROSTAT, 2017 *apud* SANTOS, 2017)

Nesse cenário também pode-se observar uma grande diferença no tratamento dos RSU entre os Países membros da UE. Os Países do Norte da Europa (Suíça, Alemanha, Países Baixos, Áustria, Suécia, Bélgica e Dinamarca), com maior PIB, condições climáticas adversas e limitação de espaço, assim como maior consciência ambiental, apresentam um maior percentual de reciclagem e de compostagem, além de maior necessidade de incineração dos resíduos que o restante dos Países da UE. Assim, a quantidade de resíduos depositados em aterros sanitários também é menor (JUCÁ *et al.*, 2014). A Alemanha merece destaque pelo pioneirismo na adoção de medidas destinadas a equacionar a questão de RS. O resultado foi que em 2001 o país já reciclava 48% dos RSU e exponencialmente em 2010 o nível de reciclagem aumentou para 62 % e o aterramento foi de quase 0% (SANTOS, 2017).

Nos Estados Unidos, devido ao desenvolvimento da educação da população e crescente preocupação com as questões ambientais, o país tem passado por modificações com relação ao destino dos RSU. Por conta disso, os índices de reciclagem e compostagem têm aumentado gradativamente e, assim, a destinação em aterros sanitários tem diminuído. Dentre as práticas implantadas para aumento dessas taxas, está o oferecimento de incentivos financeiros e a condução à educação pública (SANTOS, 2017). Por meio da Lei de Conservação e Recuperação (Resource Conservation and Recovery Act - RCRA), a Agência de Proteção Ambiental (Environmental Protection Agency – EPA) ficou incumbida de estabelecer os padrões nacionais para a gestão dos resíduos sólidos. A EPA estimula as comunidades a que considerem a seguinte hierarquia de prioridades: redução na fonte, tanto do volume quanto da toxidez de resíduos e aumento da vida útil dos produtos manufaturados; reciclagem, que inclui a compostagem de resíduos de jardim e alimentares; e, por último, incineração ou disposição em aterros sanitários (JURAS, 2012). Um exemplo modelo é São Francisco, localizado na Califórnia, que a reciclagem e a compostagem se tornaram obrigatórias no ano de 2009, onde coletam-se separadamente os resíduos recicláveis, compostáveis e rejeitos (SANTOS, 2017).

No Canadá chama a atenção o estímulo à compostagem doméstica de resíduos orgânicos. Em algumas províncias, a compostagem é obrigatória para cidades com mais de 50.000 habitantes e, em outras, foi banido o recebimento de resíduos orgânicos nos locais de disposição de resíduos (JURAS, 2012).

5.8 Vantagens e desvantagens da Compostagem como tratamento de resíduos orgânicos

A compostagem pode ser utilizada em um tratamento de resíduos sólidos integrado, como um sistema de reciclagem de materiais ou como um único sistema para tratamento dos resíduos orgânicos. Dentre as vantagens desse processo Russo (2003) cita:

- Rápida ação microbiana sobre a matéria orgânica, oxidando-a e tornando-a estável com mínima produção de odores;
- Higienização dos materiais em tratamento devido às reações exotérmicas na decomposição, com boa destruição dos organismos patogênicos;

- O processo utiliza pouca quantidade de energia externa para funcionar, em comparação com outros, pois boa parte da energia utilizada provém do próprio processo metabólico;

- Grande flexibilidade em escala de operação; produção de compostos fertilizantes orgânicos, os quais não contaminam águas subterrâneas ou superficiais, ao contrário dos químicos. No entanto, para utilização desse composto deve ser observada a legislação própria;

- Sistema de tratamento de resíduos menos caro que outros tipos, quando se considera os ganhos ambientais resultantes.

Estas vantagens se concretizam por uma escolha adequada das tecnologias, do projeto e operação. Caso contrário, resultará na formação de um composto de baixa qualidade e haverá emissões de odores que afetarão negativamente a vizinhança. As limitações do processo são a necessidade de maior área de terreno quando em larga escala e mão de obra, em comparação com outros. No entanto, esta última pode ser uma vantagem por absorver mão de obra, quase sempre não especializada (RUSSO, 2003).

Caso o material compostável fosse separado na fonte e destinado para tratamento específico, seria evitado o acúmulo de matéria orgânica nos aterros sanitários, sendo possível aumentar a vida útil do mesmo, ou então para o mesmo período a construção de aterros menores. Há ainda ganhos econômicos com a redução de custos com transporte (caso a compostagem aconteça mais próxima dos geradores), disposição final e tratamento do chorume (MASSUKADO, 2008 *apud* COSTA *et al.*, 2015).

Ademais, do ponto de vista ambiental, ocorreria a redução da emissão de gás metano, a redução da geração de lixiviado, e a economia de implementação e manutenção de sistemas para tratamento de chorume. Através de dados mais concisos, conforme Tränkler *et al.* (2002), quando a compostagem antecede o aterro de resíduos, a demanda química oxigênio e os compostos nitrogenados do percolado do aterro podem ser reduzidos em, respectivamente, 77% e 89%. Além disso, com cerca de 20 anos a formação de gás pode ser reduzida em mais de 35%, e o aquecimento global diminuído em mais de 63%. Assim, os impactos vão ser ainda menor se, ao invés de ser aterrado e jogados a lixões de céu aberto, o composto for aplicado no solo, alimentando o ciclo da vida e da volta dos nutrientes a terra (MELO E DUARTE, 2018).

Segundo Massukado (2008), em programas municipais de gerenciamento, os motivos para a compostagem ainda ser pouco utilizada são a dificuldade de se obter os materiais compostáveis separados já na fonte; a insuficiência de manutenção do processo; o preconceito com o produto e o pouco investimento e tecnologia adequada para a coleta do material.

Além disso, permite a obtenção de compostos orgânicos que podem ser utilizados na agricultura com diversos benefícios que serão citadas no tópico 4.10 (Produtos da Compostagem).

Apesar de sanáveis, existem algumas desvantagens deste sistema que precisam ser citadas: a qualidade do produto final é totalmente dependente da qualidade da matéria-prima de origem, assim, os resíduos urbanos altamente contaminados produzirão um composto com elevados teores de metais pesados. Além disso, o inadequado manejo do processo de compostagem pode gerar sítios de anaerobiose, que, devido a sua população microbológica particular, produz emissão de metano, propicia odor e acarreta em poluição atmosférica, além de quando mal operada, os líquidos e gases gerados podem contaminar o meio ambiente e comprometer a qualidade de vida.

Ademais, o processo requer uma separação eficiente de resíduos e um tempo de processamento que pode chegar a seis meses, necessita de mercado para revender o composto, os custos com a coleta diferenciada da fração orgânica dos RSU são altos, requer área relativamente grande para operação das leiras para maturação dos resíduos (JUCÁ *et al.*, 2014).

Portanto, de maneira geral, observa-se que a compostagem dos resíduos orgânicos é atrativa, pois as desvantagens associadas a ela podem ser trabalhadas e sanadas por meio de segregação, acondicionamento e manejo correto destes resíduos para o eficiente desempenho do processo operacional da compostagem (PIRES e FERRÃO, 2017).

5.9 Compostagem caseira

A compostagem caseira é uma vantajosa técnica para a ciclagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares por apresentar baixo custo para a sua implementação por meio da construção e manutenção da composteira doméstica. Tem grande potencial de ser executada em pequena escala, podendo ser empregada em residências uni ou multifamiliares, ou até instituições pública e privadas e restaurantes.

A seguir, é exposto o modelo de uma composteira doméstica de baldes, acompanhado do passo-a-passo de sua montagem, sua manutenção e cuidados necessários para o seu bom funcionamento afim de obter produtos de qualidade.

Não existe uma descrição clara na literatura, tanto científica quanto legislativa, em relação à definição universal do conceito “resíduo sólido orgânico”. Desta forma utiliza-se aqui para fins de padronização, como sendo aqueles compostos enquadrados nos resíduos sólidos de origem animal ou vegetal e passíveis de decomposição, ou seja, biodegradáveis (ABREU JUNIOR *et al.*, 2010 *apud* PIRES e FERRÃO, 2017).

No entanto, não são todos os orgânicos que podem ser levados à composteira. A diante serão apresentados no Quadro 4 os resíduos que podem ir para a composteira e os que não podem.

5.9.1 Como construir uma Composteira doméstica

Além de ajudar na conservação do meio ambiente, o uso da composteira caseira pode ser uma interessante ferramenta de educação ambiental para adultos e crianças, nas escolas e em casa.

O primeiro passo para realizar o processo de compostagem orgânica é a separação do lixo dentro de casa, iniciando com a distinção entre o lixo orgânico e compostável, do não orgânico (vidro, metal, plástico, embalagens longa vida, isopor, pilhas e baterias).

Os materiais necessários para a montagem da composteira doméstica são: 3 ou mais baldes de 15 kg, uma furadeira com broca de 1 mm e 1 torneira plástica (Figura 27).

Figura 27 - Materiais necessários para a montagem da composteira doméstica.



Fonte: Google e Arquivo Pessoal.

O número de baldes utilizado para a montagem da composteira pode variar de acordo com a quantidade de resíduos orgânicos gerados na residência. Além disso, na maioria das vezes os baldes são originários de produção de gorduras ou manteigas, e é necessário higienizá-los afim de evitar quaisquer resquícios desses tipos de gorduras.

A seguir estão descritos o passo-a-passo para a construção de uma composteira doméstica, acompanhado de imagens, em sua maioria do Arquivo Pessoal da autora:

- 1) Faça furos utilizando a furadeira com a broca de 1 mm no fundo de 2 (dois) dos 3 (três) baldes, e também na lateral;

Figura 28 - Furos no fundo e laterais dos baldes.



Fonte: Arquivo Pessoal

- 2) Corte 2 (duas) das 3 (três) tampas utilizando uma faca ou estilete, de forma a aproveitar somente o arco, como na Figura 29;

Figura 29 - Corte com estilete das tampas.



Fonte: Arquivo Pessoal

- 3) Reserve 1 (uma) tampa para fechar a composteira e faça furos com a furadeira nela;
- 4) Pegue o balde sem furos e faça uma abertura na parte inferior para encaixar a torneira de plástico;

Figura 30 - Balde em que o chorume fica armazenado.



Fonte: Arquivo Pessoal

- 5) Empilhe os baldes como esquematizado na Figura 31, e ela estará pronta para o uso.

Figura 31 - Composteiras montadas no Projeto Geoportal da UFJF.



Fonte: Arquivo Pessoal

5.9.2 Funcionamento da Composteira doméstica

Após montada a composteira, a mesma deve ficar em local arejado, protegido do sol e da chuva.

Figura 32 - Esquema de uma Composteira doméstica.



Fonte: FILHO, *et al.* (2018)

O resíduo orgânico deve ser colocado no primeiro balde (Balde 3), o do topo da composteira. Após o primeiro balde encher completamente, é necessário que troque de posição com o segundo balde (Balde 2), tornando-o o balde do topo. E assim, o processo se repete, enchendo de resíduos o balde que ficar em cima (Figura 32). Provavelmente quando o balde agora localizado em cima encher completamente, o material do balde intermediário já estará pronto.

Após iniciado o processo de degradação do resíduo orgânico, o biofertilizante líquido começa a ser gerado, e ficará armazenado no balde inferior, o balde que não apresenta furos como os dois primeiros e possui a torneira acoplada, mostrado na Figura 33.

Figura 33 - Retirada do biofertilizante líquido da composteira.



Fonte: Arquivo Pessoal

5.9.3 Manutenção e cuidados da Composteira doméstica

O sucesso da compostagem depende da qualidade do resíduo colocado na composteira ou leira. Por isso, a maneira mais segura e adequada de gestão dos resíduos para compostagem é a separação na fonte dos resíduos orgânicos, ou seja, no momento em que o mesmo é gerado, não deve ser misturado a outros resíduos. Dessa forma, evita-se a contaminação dos resíduos orgânicos e, conseqüentemente, do futuro composto, com metais pesados, vidro ou outros materiais indesejáveis para o solo (ABREU, 2017). No projeto do Geoportal da UFJF, foram disponibilizados baldinhos como os da Figura 34, que podem ser colocados na pia da cozinha ou próximo, para a separação do orgânico do resto do resíduo no momento de sua geração em casa.

Figura 34 - Baldinho para separar os orgânicos.



Fonte: Arquivo Pessoal

Um bom processo de compostagem necessita de uma mistura adequada de resíduos úmidos (ricos em nitrogênio) e de matéria seca (rica em carbono). O material rico em nitrogênio será geralmente a maior parte dos resíduos que virá da cozinha. Já o fornecimento da fonte de carbono, como serragem ou material de folhas de árvores das calçadas, gramas secas de jardins, palhas.

De forma genérica, os materiais vegetais frescos e verdes tendem a ser mais ricos em nitrogênio do que os materiais secos e acastanhados. Nota-se que o verde resulta da clorofila que tem nitrogênio enquanto que o castanho resulta da ausência de clorofila. No caso das folhas, a senescência (em que se verifica o amarelecimento das folhas devido à degradação da clorofila) está associada à re-mobilizado do nitrogênio das folhas para outras partes da planta (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008).

Dessa forma, com relação ao que colocar na Composteira, pode-se dividir em resíduos que podem ser colocados em grande quantidade, os com moderação e os que não se deve colocar. No Quadro 4, é apresentado todos esses grupos.

Quadro 4 - O que pode ou não ser colocado na composteira doméstica.

GRANDE QUANTIDADE		COM MODERAÇÃO (menos de 20%)	NÃO COLOCAR
Fontes de Carbono	Fontes de Nitrogênio		
Cascas de ovos e coco	Borras de café	Alimentos cozidos	Carnes (qualquer origem), ossos
Folhas, flores, galhos quebrados, restos de poda	Restos de comida: cascas de frutas, legumes e hortaliças	Ervas (aromáticas e medicinais)	Espinhas de peixe
Grãos e sementes	Saquinhos de chá	Estercos de boi, galinha e porco	Derivados do leite
Serragem não envernizada	-	Cascas de alho, cebola e limão	Fezes (gatos, cachorros, etc.) e Urina
Palha	-	Restos de papelão	Bituca de cigarro
Papel (sem químicos)	-	Restos de frutas cítricas	Remédios

Fonte: <https://www.ecycle.com.br/849-o-que-pode-colocar-na-composteira.html>

Antes de colocar os resíduos na composteira, deve-se picar ou cortar em pedaços menores. Como já falado nos fatores que influenciam o processo, sabe-se que quanto menor for o tamanho das partículas, maior é a sua superfície específica, e, portanto, mais fácil é o ataque microbiano ou a disponibilidade biológica das partículas, mas, em contrapartida, aumentam os riscos de compactação e de falta de oxigênio (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008).

Nesse contexto, outro importante ponto do processo é o material seco utilizado para controlar a umidade e auxiliar em vários aspectos da manutenção da composteira. A quantidade de porção seca necessária depende do volume da porção úmida. Como regra geral, para cada porção de resíduos úmidos colocada na composteira, duas porções de matéria seca serão necessárias. Com o tempo, a quantidade de matéria seca necessária pode ser aumentada ou diminuída, conforme observações do processo em cada composteira específica (ABREU, 2017).

A serragem é o material mais adequado para essa finalidade e pode ser adquirida em madeiras ou marcenarias da região, comumente encontradas nas cidades. Um setor interessante são as marcenarias que trabalham com madeiras de demolição, pois não utilizam tratamentos químicos nas madeiras, que prejudicam os microrganismos na leira de compostagem. É necessário que a serragem esteja na forma de lascas mais grossas para criar pequenos espaços dentro da leira e facilitar o fluxo de ar. No entanto, pode-se utilizar a palha também, material que pode ser adquirido nas CEASAs da região, pois para os boxistas este material é geralmente descartado. Por último, também pode-se utilizar podas de gramas e folhas secas e galhos de jardins (ABREU, 2017).

Figura 35 - Resíduo orgânico da composteira doméstica coberta com camada de serragem.



Fonte: Arquivo Pessoal

Sobre a aeração do composto, recomenda-se que o revolvimento seja feito todas as vezes que for adicionado a camada de orgânicos úmidos e a camada de matéria seca na composteira. Utiliza-se pás ou garfos de jardinagem para mexer o composto, como os da Figura 36. O arejamento evita a formação de maus odores e a presença de moscas, que são problemas bastante frequentes.

Figura 36 - Instrumentos para aerar a massa orgânica da composteira em casa.



Fonte: Arquivo Pessoal

Depois de adquirido o conhecimento acerca do funcionamento e manutenção da composteira, alguns cuidados devem ser tomados. Como exemplos, pode-se citar: colocar na composteira apenas os resíduos recomendados, revolver com o auxílio da pazinha e aerar o composto (adicionar serragem ou folhas e podas de jardim) no mínimo semanalmente e observar a presença de odores desagradáveis, insetos ou fungos. Caso ocorra alguma adversidade, deve-se seguir as seguintes recomendações, listadas no Quadro 5 a seguir.

Quadro 5 - Dúvidas recorrentes durante o uso da Composteira doméstica e suas respectivas soluções.

DÚVIDAS FREQUENTES	CAUSA PROVÁVEL	SOLUÇÕES
Processo lento	Muita matéria seca e/ou materiais muito grandes	Misture material rico em nitrogênio (materiais verdes), aumente a frequência de revolvimento e fragmente mais o resíduo antes de levar à composteira
Cheiro de amônia	Muito nitrogênio no sistema (materiais verdes)	Misture material rico em carbono (materiais castanhos) como folhas secas, serragem, palha ou jornal picado na pilha para equilibrar o excesso de nitrogênio
Cheiro pútrido ou rançoso	Possível contaminação de materiais que não deveriam ter sido adicionados, como carne ou laticínios	Remova itens e seja mais cauteloso sobre o que é adicionado à composteira
Apodrecimento ou outros maus odores	Condições anaeróbias	Misture o material com maior frequência utilizando uma pá ou garfo de jardinagem para melhorar o fluxo de ar
Aparecimento de larvas e moscas	Muito nitrogênio no sistema (materiais verdes)	Misture material rico em carbono (materiais castanhos) como folhas secas, serragem, palha ou jornal picado na pilha para equilibrar o excesso de nitrogênio
Aparecimento de pequena quantidade de vermes	Pouco alimento	Adicione folhas de alface, repolho, espinafre
As folhas não se decompõem	Pobre oxigenação ou falta de umidade	Evite camadas grossas de um único material e fragmente mais o resíduo antes de levar à composteira
Atração de roedores e outros animais	Materiais inadequados como carne, ossos, peixe, óleos	Remova itens e seja mais cauteloso sobre o que é adicionado à composteira
Aparecimento de formigas	O sistema pode estar muito seco, quente ou com restos de alimentos próximos à superfície	Manter uma boa mistura de materiais para aquecer o sistema e mantê-lo úmido (adicionar água) o suficiente.

Fonte: ABREU (2017); <https://www.grow-it-organically.com/worm-composting-system.html>

5.10 Produtos da compostagem

A compostagem apresenta dois subprodutos: o adubo orgânico e o biofertilizante líquido, conhecido popularmente como chorume.

Para que todo ciclo da maturação do adubo orgânico esteja completo são necessários aproximadamente de 90 a 120 dias após mistura dos materiais orgânicos, tendo como resultado um composto normalmente escuro e de textura turfa (Figura 37), utilizado como condicionador de propriedades físicas e biológicas do solo, assim como, um composto fertilizante que fornece os nutrientes essenciais para o suprimento das plantas.

Figura 37 - Adubo orgânico da composteira doméstica.



Fonte: Arquivo Pessoal

O composto estabilizado, além de ter temperatura igual à ambiente, apresenta-se quebradiço quando seco, moldável quando úmido, não atrai moscas e não tem cheiro desagradável. Ademais, é importante que o composto seja armazenado em local protegido do sol e da chuva. Esse produto final da decomposição (húmus) é comumente utilizado para fins agrícolas, devendo deter de características físicas e químicas que facilitem o seu uso como fertilizante e/ou condicionador de solos, não podendo conter contaminação com metais pesados ou patógenos (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008).

O uso do composto orgânico no solo viabiliza diversas vantagens, dentre elas: a "melhora da saúde do solo", ajudando na retenção e drenagem do solo melhorando sua aeração; aumenta a capacidade de infiltração de água, reduzindo a erosão; dificulta ou impede a germinação de sementes de plantas invasoras; aumenta o número de minhocas, insetos e microrganismos desejáveis, reduzindo a incidência de doenças de plantas; mantêm a temperatura e os níveis de acidez do solo (DO NASCIMENTO *et al.*, 2005 *apud* OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008).

No que tange à viabilidade de comercialização do composto, cabe salientar que por dispositivos legais de cunho ambiental, há uma lei específica (lei federal nº 6.894, de 16 de dezembro 1980) e um decreto (decreto federal nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004) de âmbito agrônômico que trata da padronização dos fertilizantes os quais são produzidos após a compostagem do resíduo orgânico. Esta lei define fertilizante como aquele de origem mineral ou orgânica e produzido de maneira natural ou sintética, abordando, dessa forma, a compostagem como o processo possível de gerar o fertilizante (o composto). No entanto, mesmo que a lei e o decreto mencionados não tratam diretamente da questão da compostagem, eles abordam a temática da reciclagem de resíduos orgânicos ao permitir a produção e comercialização de fertilizante orgânico seguindo certos padrões de qualidade (PIRES e FERRÃO, 2017). Sob um ponto de vista amplo, pode-se afirmar que o simples fato de gerar renda com a comercialização de algo que estava disposto no lixo das residências e estabelecimentos comerciais, já significa grande vantagem econômica, ambiental e social. Embora o valor comercial do composto gerado seja baixo, essa renda, quando somada ao valor economizado mensalmente pelos orçamentos públicos, devido à diminuição do volume de resíduos que serão dispostos em aterro sanitário pela prática de compostagem, pode ressaltar em uma economia considerável para população que adotar essa prática sustentável (MELO e DUARTE, 2018).

Durante o processo de compostagem de resíduos orgânicos também é gerado um subproduto na forma líquida podendo ser denominado chorume ou biofertilizante líquido (Figura 38). A composição desse subproduto pode variar de acordo com os resíduos submetidos à compostagem e é rico em nutrientes que podem ser aproveitados na agricultura.

Assim como o adubo orgânico sólido, o subproduto líquido da compostagem também possui um grande potencial fertilizante, através de uma alta carga de matéria orgânica e nutrientes minerais, se utilizado em proporções adequadas. Quando adicionado

ao solo é responsável por uma melhora na sua estrutura e fertilidade através da adição de nutrientes e matéria orgânica, facilitando a infiltração da água da chuva, a capacidade de retenção de umidade e de troca de cátions e a atividade microbiana (AVANCINI *et al.*, 2019). Com os altos valores de temperatura que o processo atinge, o processo de compostagem é capaz de eliminar todos os organismos patogênicos de infestantes, uma preocupação frequente quanto aplicação direta do chorume ao solo (BRITO *et al.*, 2008 *apud* AVANCINI *et al.*, 2019).

Dessa forma, o uso da correta dosagem do percolado, gerado pela compostagem de resíduos orgânicos, pode acarretar em benefícios para tais. Eles têm sido utilizados como adubo foliar na agricultura para aumentar a resistência contra pragas e doenças.

A utilização de biofertilizantes líquidos, os quais estejam diluídos em água em uma proporção de 10% a 30%, demonstram efeitos abundantes como fixação de flores e frutos e aumento da área foliar em diferentes culturas sendo aplicados em pulverizações foliares. Usualmente utiliza-se a proporção de 1:10, 100mL de biofertilizante diluído em 1L de água. Entretanto há uma carência em pesquisas e informações sobre qual a concentração é a mais adequada a ser utilizada (AVANCINI *et al.*, 2019).

Figura 38 - Retirada do biofertilizante líquido da composteira doméstica.



Fonte: Arquivo Pessoal

6 REFLEXÕES E CONCLUSÃO

O cenário brasileiro apresenta múltiplas adversidades que estão enraizadas e refletem em todos os âmbitos do nosso país. A revisão da literatura feita no estudo em questão, mostrou que, no que corresponde aos resíduos sólidos urbanos, existem grandes desafios a serem enfrentados pelo país e por nós, cidadãos, para que enfim ocorra a contemplação de uma sustentabilidade urbana mais eficiente. Outro ponto importante é que, pelo Brasil ser um país em desenvolvimento, a hodierna condição possui questões prioritárias sob as perspectivas da sociedade e é necessário cautela ao levantar estes questionamentos.

- Problemáticas dos RSU e Fração orgânica dos resíduos

Em relação à geração de resíduos dos brasileiros, é inteligível que famílias que detém maior renda, possuam significativo poder aquisitivo e gerem mais lixo do que famílias de baixa renda. Já sobre a parcela orgânica do lixo é recorrente a constatação de maiores taxas em regiões menos desenvolvidas.

Em relação aos ensaios de determinação das frações percentuais de cada grupo de resíduos na massa total, evidencia-se a composição gravimétrica que funciona como uma importante ferramenta para o direcionamento das soluções tecnológicas para destinação dos resíduos sólidos. No entanto, para obtenção destes resultados, o ensaio apresenta dificuldades pela heterogeneidade e complexidade dos resíduos brasileiros gerados.

Antes de falar sobre a coleta seletiva no Brasil, deve-se falar primeiramente sobre a coleta regular de lixo. O país ainda não possui cobertura completa deste serviço essencial para a população, existindo até ao presente cerca de 8% da população que não é atendida. Para um país de grande extensão territorial, com alto volume populacional e geração per capita que ultrapassa 1,0 kg/hab/dia, esse número representa grande impacto que reflete na vida de milhões de brasileiros todos os dias, seja relacionando às questões de saúde pública, sociais e de infraestruturas das cidades. Além disso, quando esse resíduo não é coletado pelas instituições responsáveis, seu fim são soluções que apresentam riscos ambientais e também para a sociedade, como a prática de queimar o lixo, considerada crime ambiental.

Se referindo agora à coleta seletiva, muito se fala da adesão dos municípios, muitas vezes para promoção da administração pública, mas pouco se expõe a veracidade

da situação. A coleta seletiva é incipiente no Brasil e não apresenta eficiência por diversas razões. Mesmo em cidades que constam o serviço, o mesmo não abrange todos os bairros, não possuem dias e horários específicos, possuem frequência reduzida e principalmente, a população apresenta baixa adesão ao serviço devido à falta de conhecimento e conscientização sobre o atendimento oferecido.

Nesse contexto, para que a efetiva coleta seletiva aconteça é necessário um exercício diário de cidadania. O primeiro passo é se informar na prefeitura da cidade se o seu bairro é contemplado com o serviço. Caso positivo, orientar-se sobre os dias e horários. Caso negativo, para a colaboração como cidadão, é indicado realizar uma solicitação do serviço no seu município para a região específica. Assim, a prática ganha força e é estimulada.

O segundo passo é praticar a separação do lixo diariamente. Ela pode ser feita em dois grupos: a parte seca que são os papéis, plásticos, alumínio, dentre outros, e a parte úmida que são os restos frutas e verduras, e outros alimentos. No entanto, tal prática não é habitual e não faz parte do cotidiano da maior parte da população brasileira. É importante ressaltar que o ato não apresenta dificuldades em sua execução e faz parte da cultura de diversos países desenvolvidos, como por exemplo países da Europa. Tomando como exemplo um país campeão em reciclagem, na Alemanha ocorre a separação efetiva dos resíduos e cerca de 45% do total dos resíduos sólidos do país é reciclado. Nesse sentido, separar o lixo no Brasil e destinar para a coleta seletiva apresenta entraves no que tange aos cidadãos e às instituições públicas. E para mudar esse cenário, podemos sair do individual e fazer a nossa parte.

Em relação à responsabilidade das empresas, a norma ISO 14001 de 2015 incentiva a coleta seletiva e é reconhecida internacionalmente. Ela proporciona requisitos de adequação perante as leis ambientais entre outras ações relacionadas ao sistema de gestão ambiental e proporciona uma série de benefícios para tornar a empresa sustentável e lucrativa, além de trazer os requisitos para a criação do sistema de gestão ambiental padrão internacional.

- Aterros sanitários e impactos da matéria orgânica

No que diz respeito à destinação dos resíduos no país, os estudos brasileiros no geral tratam os aterros sanitários como forma de disposição final correta. A realidade é que estas obras de engenharia não podem perdurar por muitos anos como solução no país.

Com o passar dos anos, a tendência da população é crescer exponencialmente e com ela, o volume de resíduos. Em algumas décadas, os aterros atuais obterão alturas incontrolláveis e não haverá área suficiente para construção de novos aterros sanitários. Ademais, o cenário das altas taxas de orgânicos destinadas aos aterros também representam riscos para estas obras, já mencionados anteriormente no estudo, e devem sofrer modificações para conter tais complicações presentes e futuras.

Além disso, apesar de não ser a única solução para a gestão de RSU, assim como qualquer forma de tratamento de RSU é necessário, em última instância, uma solução para disposição final dos rejeitos gerados no processo e dessa forma, apresenta pontos positivos e negativos que devem ser levados em conta.

Dentre as vantagens da disposição final em um aterro sanitário pode-se citar: a capacidade de absorver RSU de diferentes tipos em grandes quantidades; o controle da proliferação de vetores (por conta do cobrimento diário); a drenagem dos lixiviados (evitando que se infiltrem e contaminem o lençol freático); a possibilidade de aproveitamento do biogás para geração de energia; e ainda, baixo custo quando comparado à incineração, por exemplo. Tais vantagens têm como benefício maior a preservação do meio ambiente e a melhora da qualidade de vida no meio urbano (SOUZA e VASQUEZ, 2018).

Entretanto, essa obra de engenharia irá causar vários problemas, tanto ambientais como para a sociedade, tais como: necessidade de grandes investimentos para sua implantação e manutenção; fermentação e digestão da matéria orgânica pelos microorganismos anaeróbicos que geram gases altamente nocivos à atmosfera, além do chorume; material plástico, contido no lixo do aterro – que não é biodegradável – permanece incólume, criando bolsões de gases e condições de deslizamento das camadas componentes do aterro; inutilização de grandes áreas em locais valorizados e próximos das cidades que nunca mais poderão ser utilizados, senão para cobertura verde; pesados investimentos em equipamentos, tratores, caminhões e retroescavadeiras para operação no aterro; enorme custo operacional para cumprir as condições mínimas obrigatórias; vida útil do aterro limitada, obrigando a permanente busca de novas áreas; poluição da atmosfera pela exalação de odores fétidos num raio de vários quilômetros; riscos permanentes de poluição dos mananciais subterrâneos e necessidade de queima dos gases emanados pelos drenos constituídos principalmente pelo gás metano (PORTELLA e RIBEIRO, 2014). No Quadro 6 a seguir, estão alguns pontos de destaque.

Quadro 6 - Algumas vantagens e desvantagens dos Aterros Sanitários.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Relativo baixo custo operacional	Geração de odores característicos
Tecnologia amplamente conhecida	Necessidade de grandes áreas para o empreendimento
Possibilidade de aproveitamento de biogás	Exige captura e tratamento de gases e lixiviados
Grande flexibilidade para receber uma gama muito grande de resíduos	Após capacidade esgotada, ainda exige cuidado e manutenção, por anos

Fonte: Adaptado de BERTICELLI; PANDOLFO; KORF (2017)

Falando sobre os gastos dessa obra, com relação à impermeabilização de base, existe uma norma da ABNT de 2010 que estabelece critérios para dispensa de tal etapa em aterros de pequeno porte. Dentre os três critérios estabelecidos, a fração orgânica se destaca, sendo que quanto maior a porcentagem de matéria orgânica dos resíduos ali aterrados, maiores são os gastos com a impermeabilização. Os critérios estão expostos abaixo na Figura 39.

Figura 39 - Critérios de dispensa da impermeabilização de base de aterros de pequeno porte.

Tabela 10 – Critérios para dispensa do sistema de impermeabilização de fundo (ABNT, 2010)

Limites máximos do excedente hídrico (EH, mm/ano) para a dispensa da impermeabilização complementar.	Fração orgânica dos resíduos ≤ 30%				Fração Orgânica dos resíduos > 30%				
	Profundidade do freático (m)				Profundidade do freático (m)				
	1,50 < n ≤ 3	3 < n < 6	6 ≤ n < 9	n ≥ 9	1,50 < n ≤ 3	3 < n < 6	6 ≤ n < 9	n ≥ 9	
Coefficiente de permeabilidade do solo local k (cm/s)	k ≤ 1x10 ⁻⁶	250	500	1000	1500	188	375	750	1125
	1x10 ⁻⁶ ≤ k ≤ 1x10 ⁻⁵	200	400	800	1200	150	300	600	900
	1x10 ⁻⁵ ≤ k ≤ 1x10 ⁻⁴	150	300	600	900	113	225	450	675

Fonte: NBR 15.849 (2010)

O mesmo ocorre com os gastos da implantação do sistema de drenagem e tratamento do lixiviado. Quanto maior a fração orgânica ali aterrada, maior a geração de chorume e maiores são os gastos com materiais para construção de drenos internos como

tubos PVC/PEAD, brita (material granular) e material filtrante. Além disso, como o aterro é um meio predominantemente anaeróbio, o lixiviado formado apresenta elevada presença de nitrogênio amoniacal, substância que necessita de alto custo para tratamento. Embora as práticas de gerenciamento de resíduos tenham avançado, a geração e o tratamento do lixiviado continuam sendo uma das questões mais importantes associadas à gestão dos aterros sanitários.

Já referente à estabilidade destes maciços, o alto teor de matéria orgânica presente no interior das células é responsável por intensificar a formação de bolsões de gases e líquidos e por consequência provocar rupturas e acidentes. Nesse sentido, os acidentes poderiam ser minimizados caso a matéria orgânica chegasse em volumes reduzidos, o que evitaria recalques em sua estrutura.

Sobre as outras formas de destinar os resíduos, o desenvolvimento é lento e não há incentivos do governo brasileiro para os municípios e para a população. Isso ocorre por exemplo com a Incineração, que é um processo de alto custo, mas que é seguro e diminui significativamente o volume do resíduo. Muito explorado por países desenvolvidos, se faz ênfase no Japão, que apresenta alta geração per capita, e como solução para os grandes volumes gerados, utiliza tal prática para diminuição do volume, respeitando o meio ambiente e gerando energia para a população. Com a discrepância do Brasil, apenas 1% da prática pra destinação dos resíduos é realizada.

- Compostagem

Além da incineração, outra prática bastante desenvolvida por países avançados, é a compostagem, que foi o destaque do trabalho. A compostagem se difere das outras formas de destinação correta pois pode ser tanto da responsabilidade das instituições quanto individualmente e realizadas de forma caseira sem a necessidade de tecnologias avançadas. No contexto do tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, a compostagem é uma prática promissora para o país, mas que não possui incentivo do governo e como usual, possui a carência do acesso à informação e à educação ambiental sobre o tema. Como modelo de sistema, a cidade de São Francisco na Califórnia (EUA) possui a meta de até o final do ano atual, zerar a destinação de resíduos para aterros sanitários e o processo está em andamento através de intensos programas de reciclagem e compostagem, com resultados promissores. A cidade introduziu incentivos econômicos

para a população, com o estímulo à compostagem, da forma de quem realizar mais a prática, possui descontos na taxa de lixo.

Além disso, no que se refere à compostagem, ela pode constituir em ganhos econômicos para a administração pública, pois reduz os custos de transporte e destinação para o aterro, e apresenta ganhos ambientais no sentido de aumentar a vida útil dos aterros sanitários. No mais, o processo ainda tem a vantagem de oferecer como produto um composto orgânico que pode ser utilizado na agricultura como fertilizante, uma alternativa para os fertilizantes químicos que são prejudiciais ao meio ambiente e também pode ser comercializado.

Quando se leva em consideração as outras problemáticas do país, pode ser resumida fortemente pela desigualdade existente e a conseqüente alienação da população por falta de condições essenciais à vida. Como por exemplo, a educação, ao trabalho e a saúde.

Nessa perspectiva, não pode ser desconsiderado no estudo que o lixo é fonte de renda direta para mais de meio milhão de brasileiros que atuam como catadores. Pela falta de oportunidade de trabalho e para sobrevivência de suas famílias, os catadores acabam funcionando como agentes importantes nas questões dos resíduos pois, contribuem de forma significativa para os índices de reciclagem no país. Outrossim, não possuem reconhecimento e tampouco suporte do poder público e da população.

Com relação à educação, nas escolas pouco se explora a educação ambiental, que deveria fazer parte da base de todo o ensino. Dessa forma, é necessário que se incorporem nas grades curriculares, desde a primeira infância, atividades e projetos que possam ensinar às crianças como lidar com os resíduos, sua destinação e formas de tratamento.

Outro ponto é o incipiente suporte às instituições de ensino, detentoras de informação e responsáveis por pesquisas nas áreas de resíduos sólidos urbanos. O projeto de Treinamento Profissional “Resíduos sólidos urbanos: gestão, tratamento e projeto de aterros sanitários” da Universidade Federal de Juiz de Fora, possui o objetivo de disseminar a prática da compostagem e tornar o conhecimento mais acessível para os alunos e para toda a sociedade. São projetos como esse, que muitas vezes não recebem o devido apoio, e possuem alto valor para formação de cidadãos mais conscientes.

Finalizando as reflexões, já foi provado que o lixo não deve ser visto como algo sem valor, seja para aproveitamento energético ou transformação em ricos subprodutos. Pode-se obter muitos frutos otimistas com sua valoração. Além do mais, vivemos todos no mesmo planeta e devemos ser responsáveis pelo que geramos. A responsabilidade compartilhada é a chave para um futuro mais sustentável, principalmente quando está se falando do nosso país. E assim, para que ocorra mudanças e impactos positivos, podemos e devemos fazer a nossa parte, sem esperar ações do poder público.

Apesar da compostagem parecer uma técnica simplista e intuitiva, é importante a realização de cálculos adequados dos fatores que influenciam no processo como a umidade e a relação C/N. Para trabalhos futuros, implico como sugestão o estudo destes cálculos para melhor entendimento e sucesso da prática. Além disso, é sugestivo que explorem casos que viram oportunidades nos resíduos orgânicos, seja através de projetos de prefeituras e instituições ou criação de empresas neste ramo da Compostagem.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE. Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019**. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 07 mai 2020.
- ABREU, Marcos José de. **Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos: Manual de orientação**. 168p. Ministério do Meio Ambiente, MMA, Brasília, 2017.
- ALVARES, Bruno Augusto. **Estudo do tratamento biológico para a fração orgânica de resíduos sólidos urbanos e suas perspectivas para o Brasil**. 88p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, EESC/USP, São Carlos, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13591: **Compostagem**. Rio de Janeiro, 1996, 4 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10004: **Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, mai de 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10007: **Amostragem de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, de 30 de nov. 2004b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13896: **Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, de 30 de jun. 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8419: **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, de abr. 1992.
- AVANCINI, Anita Ribas. *et al.* **Caracterização química dos compostos líquidos oriundos da compostagem de resíduos agroenergéticos**. Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis, 2019. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/211599/1/Sergio-dos-Anjos-Caracterizacao-quimica-dos-compostos-liquidos-oriundos-da-compostagem-de-residuos.pdf>>. Acesso em: 21 jul 2020.
- BENVENUTO, Clóvis; CIPRIANO, Marco Aurélio. **Modelo Reológico de Comportamento de Resíduos e Aterros Sanitários, Segundo Critérios de Projeto e Operação Atuais no Brasil**. Revista Limpeza Pública, n. 74, p. 42–47, 2010.
- BERSAN, Jéssica Laine Mendes; KELMER, Gisele Rodrigues Aparecida; ALMEIDA, Júlia Righi de. **Diagnóstico dos resíduos destinados às unidades de compostagem no estado de Minas Gerais utilizando a base do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**. 9º Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade, 2020.

BERTICELLI, Ritielli; PANDOLFO, Adalberto; KORF, Eduardo Pavan. **Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos: perspectivas e desafios**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 5, n. 2, p. 711-744, 2016. Disponível em: <http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/3624>. Acesso em: 09 jun. 2020.

BORGATTO, André Vinícius Azevedo. **Estudo das propriedades geomecânicas de resíduos sólidos urbanos pré-tratados**. 306p. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL, **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): 17ª Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, ano de 2018**. Brasília: SNS/MDR, 2019. 247 p.

CASARIN, Daiane Schwanz. **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos no município de Morro Redondo/RS**. 53p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental), Universidade Federal de Pelotas, UFPel, Rio Grande do Sul, 2013.

CATAPRETA, Cícero Antonio Antunes; SIMÕES, Gustavo Ferreira. **Monitoramento ambiental e geotécnico de Aterros Sanitários**. VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Campina Grande, PB, 2016. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/III-081.pdf>>. Acesso em: 15 jun 2020.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). **CEMPRE Review 2019**. São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: <<http://cempre.org.br/upload/CEMPRE-Review2019.pdf>>. Acesso em: 06 mai 2020.

COSTA, Amanda Rodrigues Santos; *et al.* **O processo da compostagem e seu potencial na reciclagem de resíduos orgânicos**. Revista Geama, p. 246-260, 2015. Disponível em: <<http://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/503>>. Acesso em: 01 mai 2020.

ELK, Ana Ghislane Pereira Van; CORREA, Leandro Rangel; RITTER, Elisabeth. **Análise de recalques em longo prazo no vazadouro de Marambaia, Nova Iguaçu, Rio de Janeiro**. Engenharia Sanitária Ambiental, Rio de Janeiro, v. 24, n. 3, p. 547-557, 2019. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522019000300547&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 10 mar 2020.

FERLA, Fernanda. **Composição Gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos avaliando o potencial para Compostagem e Reciclagem no município de Garibaldi/RS**. 94p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade do Vale do Taquari, Univates, Lajeado, 2016.

FERNANDES, Fernando; SILVA, Sandra Márcia Cesário Pereira da. **Manual Prático para a compostagem de bio-sólidos**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, PROSAB, 2000.

FILHO, Claudio Gotardo; *et al.* **Como montar uma composteira caseira: manual de orientação**. Andradina: Secretaria Municipal de Meio Ambiente. 11p, 2018. Disponível em: <https://www.andradina.sp.gov.br/arquivos/31_arquivo_compostagem_.pdf>. Acesso em: 27 abr 2020.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (FEAM), 2015. **Geração per capita, peso específico e composição gravimétrica dos RSU nos municípios de Minas Gerais**. Belo Horizonte, FEAM. Disponível em: <http://www.feam.br/component/content/article/13-textoinformativo/1307-geracao-per-capita-e-composicao-gravimetrica-dos-rsu-nos-municipios-de-minas-gerais->. Acesso em: 09 mai 2020.

GALLI, Paula Dias. **Sistema de captação de chorume em Aterro Sanitário**. 28p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Anhanguera, UNIDERP, Campo Grande, 2018.

GIACCOM-RIBEIRO, Bárbara Maria; MENDES, Carlos André Bulhões. **Avaliação de parâmetros na estimativa da geração de Resíduos Sólidos Urbanos**. Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento, v. 7, n. 3, p. 422-443, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, ago 2018. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbpd/article/view/8652/5330>>. Acesso em: 10 mai 2020.

GLUZEZAK, Maiara Luiza Novello. **Oportunidades e desafios na recuperação energética da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos – O caso de Araranguá/SC**. 38p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Energia), Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Santa Catarina, 2019.

GOMES, Felipe Correia de Souza Pereira; AQUINO, Sérgio Francisco de; COLTURATO, Luis Felipe de Dornfeld Braga. **Biometanização seca de resíduos sólidos urbanos: estado da arte e análise crítica das principais tecnologias**. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 295-304, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141341522012000300006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 08 mai 2020.

GUERMANDI, Júlia Inforzato. **Avaliação dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos dos fertilizantes orgânicos produzidos pelas técnicas de compostagem e vermicompostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos coletada em estabelecimentos alimentícios de São Carlos/SP**. 181p. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, 2015.

GUIMARÃES, Gabriel dos Anjos. **Composição Gravimétrica e Valorização Econômica dos Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de caso na região central de Itacoatiara/AM**. 78p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária), Universidade Federal do Amazonas, UFAM, Amazonas, 2019.

HAUBERT, Jéssika dos Santos; *et al.* **Caracterização gravimétrica do RSU do município de Sinop – MT para classes de baixa renda**. IX Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, São Bernardo do Campo, SP, 2018. Disponível em: <

<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2018/III-070.pdf>>. Acesso em: 20 mai 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro, 2010. 219p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv45351.pdf> >. Acesso em: 10 mai 2020.

JUCÁ, José Fernando Thomé; *et al.* **Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. Jabotão dos Guararapes, PE, 2014. Disponível em: <<http://protegeer.gov.br/biblioteca/publicacoes/gestao-integrada-de-rsu/50-analise-das-diversas-tecnologias-de-tratamento-e-disposicao-final-de-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-europa-estados-unidos-e-japao>>. Acesso em: 20 jul 2020.

JURAS, Ilidia da Ascensão Garrido Martins. **Legislação sobre resíduos sólidos: comparação da Lei 12.305/2010 com a legislação de países desenvolvidos**. 55 p. Consultoria Legislativa, 2012.

KAMIJI, Thelma Sumie Maggi Marisa; OLIVEIRA, Francisco José Pereira de. **Reflexões a respeito de rupturas em Aterros Sanitários**. IX Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental (REGEO), p 469-475, São Carlos, SP, 2019. Disponível em: <http://regeossinteticos2019.com.br/wpcontent/uploads/2019/08/Anais_Geotecnia_Ambienta.pdf>. Acesso em: 18 jun 2020.

KIM, Viviane Jin Hee. **Análise da composição gravimétrica dos resíduos domiciliares de São Carlos (SP)**. 196p. Dissertação de Mestrado (Engenharia Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, EESC/USP, São Carlos, 2019.

LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 09 mai 2020.

LEITE, Thiago de Almeida. **Compostagem Termofílica de Lodo de Esgoto: Higienização e Produção de Biossólido para Uso Agrícola**. 186p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2015.

MARANGON, Márcio. **Tópicos em geotecnia e obras de terra** - Notas de Aula. Universidade Federal de Juiz de Fora, curso de Engenharia Civil 2013.

MARTILDES, Jéssica Araújo Leite; *et al.* **Avaliação do método de tratamento de lixo do Aterro Sanitário de Campina Grande-PB, Brasil**. Brasil Journal of Development, v. 6, n. 4, Curitiba, PR, 2020. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/9023/7686>>. Acesso em: 05 jun 2020.

MATTEI, Greice; ESCOSTEGUY, Pedro Alexandre Varella. **Composição gravimétrica de resíduos sólidos aterrados**. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v.

12, n.3, p.247-251, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141341522007000300003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 17 mai 2020.

MELO, Catarinne Xavier de; DUARTE, Sibeles Thaise. **Análise da compostagem como técnica sustentável no gerenciamento dos resíduos sólidos**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, Vol. 5, n 10, p. 691-710, Patos, PB, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.21438/rbgas.051021>>. Acesso em: 27 abr 2020.

MENEZES, Rosana Oliveira; *et al.* **Análise estatística da caracterização gravimétrica de resíduos sólidos domiciliares: estudo de caso do município de Juiz de Fora, Minas Gerais**. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, p. 271-282, 2019. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522019000200271&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 01 mai 2020.

MOURA, Aline Alves de; LIMA, Wesley Schettino de; ARCHANJO, Cristiane do Rocio. **Análise da Composição Gravimétrica de Resíduos Sólidos Urbanos: estudo de caso - município de Itaúna- MG**. Revista Digital FAPAM, Pará de Minas, MG, n.3, 4 – 16, 2012. Disponível em: < www.fapam.edu.br/revista>. Acesso em: 09 jun 2020.

NETO, Ademaro de Lamare. **Resistência ao cisalhamento de resíduos sólidos urbanos e de materiais granulares com fibras**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2004, 190 p. Tese de Doutorado.

OENNING, Adrielli da Silva; *et al.* **Estudo de composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do município de Criciúma**. Revista Iniciação Científica, Santa Catarina, v. 10, n. 1, p. 5-18, 2012. Disponível em: <<http://periodicos.unesc.net/iniciacaocientifica/article/view/1605>>. Acesso em: 18 mai 2020.

OLIVEIRA, Ana Karoline Nunes de Oliveira; *et al.* **Parâmetros de resistência de resíduos sólidos para projetos de aterros sanitários**. XIX COBRAMSEG, Salvador, BA, 2018.

OLIVEIRA, David Américo Fortuna. **Estabilidade de Taludes de maciços de resíduos sólidos urbanos**. 155p. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UnB, Brasília, DF, 2002.

OLIVEIRA, Emídio Cantídio Almeida de; SARTORI, Raul Henrique; GARCEZ, Tiago. **Compostagem**. 19p. Atividade da disciplina Matéria Orgânica do Solo, Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de plantas, Universidade de São Paulo, USP, Piracicaba, São Paulo, 2008.

PASSOS, Eduardo Lelis. **Caracterização geotécnica de área na implantação de um Aterro Sanitário – estudo de caso do Aterro Sanitário de Brasília / DF**. 57p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Centro Universitário de Brasília, UNICEUB, Distrito Federal, 2019.

PIRES, Isabela Cristina Gomes; FERRÃO, Gregori da Encarnação. **Compostagem no Brasil sob a perspectiva da legislação ambiental**. Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas, v. 9, n. 01, Chapadinha, MA, 2017. Disponível em: <<http://www.periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/ccaatropica/article/view/5685>>. Acesso em: 27 abr 2020.

PIRES, Isabela Cristina Gomes; FERRÃO, Gregori da Encarnação. **Compostagem no Brasil sob a perspectiva da legislação ambiental**. Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas, p.01-18, v. 09, n. 01, 2017. Disponível em: <<http://www.periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/ccaatropica/article/view/5685/4110>>. Acesso em: 27 abr 2020.

PORTELLA, Márcio Oliveira; RIBEIRO, José Cláudio Junqueira. **Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos**. Revista Direito Ambiental e sociedade, v. 4, n. 1, p. 115-134, 2014. Disponível em: <<http://www.ucs.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/issue/view/181>>. Acesso em: 15 jun 2020.

REMÉDIO, Flávio Henrique. **Análise de estabilidade de taludes de Aterro de resíduos urbanos utilizando parâmetros geotécnicos de propostas bibliográficas e correlações com Nspt**. 131p. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, UNESP, São Paulo, 2014.

RIGHI, Júlia R de Almeida; FAYER, Sarah Kirchmaier; SOARES, Nathalia Delage. **Destinação final dos resíduos sólidos no Brasil: desafios e oportunidades**. Tópicos em Sustentabilidade & Conservação, pág. 142-166, Juiz de Fora, MG, 2018. Disponível em: <https://www.ufjf.br/comportamento/files/2019/05/2018_BARBOSA-et-al-2018_T%c3%b3picos-em-Sustentabilidade-Conserva%c3%a7%c3%a3o-2%c2%baEd_Book.pdf>. Acesso em: 27 jul 2020.

RIGHI, Júlia R de Almeida. **Geotecnia de Aterros Sanitários** – Notas de Aula. Universidade Federal de Juiz de Fora, curso de Engenharia Ambiental e Sanitária 2019.

RIGHI, Júlia R de Almeida. **Proposta de índice de avaliação de aterros de resíduos desativados a partir do potencial poluidor do lixiviado**. 190p. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2017.

ROCHA, Carolina. Colares. *et al.* **Caracterização Gravimétrica pontual dos Resíduos Sólidos Domiciliares de Campo Grande, Rio De Janeiro – RJ**. Anais do 11º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. v. 11, n. 11, 2020. Porto Alegre, 2018. Disponível em: <<http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/748>>. Acesso em: 10 mai 2020.

RODRIGUES, Alexandre Couto; *et al.* **Compostagem de resíduos orgânicos: eficiência do processo e qualidade do composto**. Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v. 11, n. 22, p.759-770, 11 dez. 2015. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2015c/agrarias/compostagem%20de%20residuos.pdf>>. Acesso em: 09 jun 2020.

ROMANI, Andrea Pitanguy; SEGALA, Karin. **Planos de resíduos sólidos: desafios e oportunidades no contexto da Política Nacional de Resíduos Sólidos**, 98p., Rio de Janeiro, IBAM, 2014. Disponível em: <http://www.ibam.org.br/media/arquivos/estudos/publicacao_residuos_final.pdf>. Acesso em: 09 jun 2020.

ROSA, Liciane Oliveira da; *et al.* **Valorização dos Resíduos Orgânicos do setor de hortifrutigranjeiro pelo processo de Compostagem Doméstica**. SEMIOSES: Inovação, Desenvolvimento e Sustentabilidade. v. 13, n. 2, 2019. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://revistas.unisuam.edu.br/index.php/semioses/article/view/268>>. Acesso em: 18 mai 2020.

RUSSO, Mário Augusto Tavares. **Tratamento de Resíduos Sólidos**. 196p. Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, 2003.

SANTOS, Amanda Thirza Lima; *et al.* **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, Rolim de Moura, RO, 2014. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/06/Aproveitamento-da-fra%C3%A7%C3%A3o-org%C3%A2nica-dos-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos-urbanos-para-produ%C3%A7%C3%A3o-de-composto-org%C3%A2nico.pdf>>. Acesso em: 20 mai 2020.

SANTOS, Jessyca Ingles Nepomuceno dos. **Avaliação da operação das unidades de triagem e compostagem instaladas no estado de Minas Gerais**. 121 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, 2017.

SCHLOTTFELDT, Daniel Donida. **Produção mais limpa (P+L): a compostagem como alternativa no tratamento de resíduos industriais**. Santo Amaro, SP, 2013. Disponível em: <<http://www.segurancaotrabalho.eng.br/artigos/compostagem.pdf>>. Acesso em: 25 jun 2020.

SILVA, Alice Sabrina Ferreira da. **Avaliação do processo de compostagem com diferentes proporções de resíduos de limpeza urbana e restos de alimentos**. 49p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, 2016.

SILVA, Ana Luiza Ferreira da. **Potencial de aproveitamento energético do biogás produzido no Aterro Sanitário Metropolitano de Natal**. 56p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Rio Grande do Norte, 2019.

SIQUEIRA, Cristina Pinheiro Machado de. **Práticas Informacionais em Comunidades de Compostagem**. 74p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biblioteconomia), Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, 2017.

SIQUEIRA, Thais Menina Oliveira de; ABREU, Marcos José de. **Fechando o ciclo dos resíduos orgânicos: compostagem inserida na vida urbana**. Cienc. Cult., São Paulo, v. 68, n. 4, p. 38-43, 2016. Disponível em:

<http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252016000400013&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 27 abr 2020.

SIQUEIRA, Thais Menina Oliveira de; ASSAD, Maria Leonor Ribeiro Casimiro Lopes. **Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de São Paulo (Brasil)**. São Paulo, v. 18, n. 4, p. 243-264, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414753X2015000400014&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 18 ago. 2020.

SOARES, Erika Leite de Souza Ferreira. **Estudo da Caracterização Gravimétrica e Poder Calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos**. 150p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2011.

SOARES, Laura de Paula; *et al.* **Relação entre acidentes em Aterros Sanitários e monitoramento**. VI Congresso de Engenharia Civil, Juiz de Fora, MG, 2019. Disponível em: <<https://www.ufjf.br/congressodeengenharia/anais-vi-conenge-2019/>>. Acesso em: 05 jun 2020.

SOARES, Nathália Delage. **Avaliação dos fatores influenciadores na Estabilidade de Aterros de resíduos**. 88p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF, Minas Gerais, 2018.

SOLANI, Rodrigo D.; KUMSCHLIES Márcia C. G.; SCHALCH, Valdir. **A gestão de resíduos sólidos urbanos como estratégia de sustentabilidade**. Revista Espacios, v. 40, n. 3, p. 9, 2019. Disponível em: <<http://revistaespacios.com/a19v40n03/19400309.html>>. Acesso em: 09 jun 2020.

SOUZA, Alice Magalhães Garcia, VAZQUEZ, Elaine Garrido. **Proposta para a gestão de resíduos sólidos urbanos, em Aterro Sanitário, da cidade de Paraíba do Sul - RJ, utilizando indicadores de custo**. Revista Gestão e Gerenciamento, v. 10, n. 10, p. 51-60, 2018. Disponível em: <<https://nppg.org.br/revistas/gestaoegerenciamento/article/view/162/183>>. Acesso em: 16 jun 2020.

TAVARES, Graciane Sousa Cunha. **Contribuição para a sustentabilidade na gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos nos municípios da Região Metropolitana do Recife (RMR)**. 122p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Recife, 2018.

TRENTIN, Adan William da Silva; *et al.* **Estudo da composição gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos em Santa Cruz do Sul, Brasil**. Revista de Ciências Ambientais, Canoas, RS, v. 13, n. 1, 2019. Disponível em: <<http://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca>>. Acesso em: 22 mai 2020.

TRENTINI, Mercedes; PAIM, Lygia. **Pesquisa em Enfermagem. Uma modalidade convergente-assistencial**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999.