



**Companhia Municipal de Limpeza Urbana – COMLURB**

**Universidade COMLURB - UNICOM**

**Programa de Desenvolvimento Gerencial - PDG**

**Alberto do Couto Medeiros/UGV-S**

**Aloizio Carlos Felix da Silva/NG25F**

**Bianca Ramalho Quintaes/TGP**

**Elias Gouvea Portes/TGT**

**José Emídio de Araujo Neto/TGC**

**Eu separo, tu separas, a COMLURB composta: compostagem como estratégia para  
gestão de resíduos sólidos orgânicos no município do Rio de Janeiro**

**Rio de Janeiro**

**2019**



Companhia Municipal de Limpeza Urbana - COMLURB  
Rua Major Ávila, 358 - Tijuca / CEP. 20540-903 Rio de Janeiro / RJ Brasil  
Central de Atendimento 1746 - [www.rio.rj.gov.br/comlurb](http://www.rio.rj.gov.br/comlurb)

Alberto do Couto Medeiros/UGV-S

Aloizio Carlos Felix da Silva/NG25F

Bianca Ramalho Quintaes/TGP

Elias Gouvea Portes/TGT

José Emídio de Araujo Neto/TGC

Eu separo, tu separas, a COMLURB composta: compostagem como estratégia para  
gestão de resíduos sólidos orgânicos no município do Rio de Janeiro

Dissertação apresentada ao Programa de Desenvolvimento Gerencial, Universidade COMLURB, como parte dos requisitos necessários à qualificação.

**Rio de Janeiro**

2019

## RESUMO

Dentre os diferentes tipos de resíduos gerados pelo homem, os de origem alimentar têm merecido maior atenção nos últimos anos, principalmente, pelas passivos ambientais resultantes de sua disposição final em aterro sanitário. O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de ações coordenadas voltadas para a otimização da segregação de resíduos sólidos orgânicos produzidos por grandes geradores, visando a redução do aterramento desta fração. Para tanto, pretende-se estudar a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU) produzidos por grandes geradores do ramo alimentício e viabilizar o encaminhamento para uma unidade de compostagem, implantada na Estação de Transferência de Resíduos-ETR do bairro do Caju. Como resultados, espera-se que seja implantada uma prática de segregação adequada pelos grandes geradores e a produção de um composto orgânico de qualidade para uso em recuperação e revitalização de áreas verdes urbanas, além do aumento da vida útil do aterro sanitário.

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 OBJETIVO GERAL .....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	16
3.1 PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	16
3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS .....	17
3.2.1 Definição e Classificação.....	17
3.2.2 Política Nacional de Resíduos Sólidos.....	20
3.2.3 Gestão e Gerenciamento dos Resíduos Sólidos .....	22
3.2.4 Resíduos Sólidos Orgânicos .....	22
3.3 Alternativas de Destinação Final para os Resíduos Orgânicos .....	24
3.3.1 Aterro Sanitário .....	24
3.3.2 Incineração .....	24
3.3.3 Compostagem.....	25
3.3.4 Biodigestão anaeróbia .....	25
3.4 Legislações brasileiras relacionadas à compostagem e ao composto orgânico.....	26
4 METODOLOGIA .....	28
4.1 LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DO PROJETO .....	28
4.2 CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS DE GRANDES GERADORES .....	30
4.3 DISSEMINAÇÃO DO CONHECIMENTO PARA AS EQUIPES DA COMLURB E OUTRAS ENTIDADES PARCEIRAS ..	32
4.4 IMPLEMENTAÇÃO DA INICIATIVA DE CONSCIENTIZAÇÃO A SER CONDUZIDA JUNTO AO PÚBLICO-ALVO (GRANDES GERADORES).....	32
4.5 IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE COMPOSTAGEM OTIMIZADA NA ETR CAJU, COM CAPACIDADE PARA TRATAR ATÉ 100 TON/DIA DE RESÍDUOS ORGÂNICOS. ....	33
4.6 MONTAGEM DA LEIRA .....	39
4.7 OPERAÇÃO E MONITORAMENTO DO SISTEMA DE COMPOSTAGEM IMPLEMENTADO.....	42
4.8 APRIMORAMENTO NO SISTEMA DE PENEIRAMENTO DA ETR CAJU.....	43
4.9 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO COMPOSTO GERADO NO SISTEMA DE COMPOSTAGEM.....	44
4.10 IMPLEMENTAR AÇÕES ESTRATÉGICAS PARA VIABILIZAR E/OU OTIMIZAR O ESCOAMENTO E USO DO COMPOSTO ORGÂNICO GERADO NO ÂMBITO DO PROJETO .....	46
5. RESULTADOS .....	46
5.1. GRAVIMETRIA E MONTAGEM DA LEIRA.....	46
5.2. . QUALIDADE DO COMPOSTO .....	48
6. CONCLUSÃO .....	53
7. RECOMENDAÇÕES .....	53
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	54

## Lista de Figuras

<i>Figura 1 – Hierarquia das ações no manejo de resíduos sólidos, de acordo com Art. 9º da Lei nº 12.305/2010.</i> .....	21
<b><i>Figura 2 – Componentes dos Resíduos Sólidos Domiciliares detectados pela Gravimetria dos resíduos coletados na cidade do Rio de Janeiro, em 2018.</i></b> .....	23
<b><i>Figura 3 – Município do Rio de Janeiro subdividido nas Áreas de Planejamento.</i></b> .....	29
<i>Figura 4 – Estação de Transferência de Resíduos do Caju.</i> .....	30
<i>Figura 5 – Resíduos sólidos orgânicos provenientes de grandes geradores</i> .....	31
<i>Figura 6 – Estrutura para capacitação de empregados e representantes do ramo alimentício.</i> .....	32
<b><i>Figura 7 – Vista geral da Unidade de Biometanização, com área de apoio e laboratório (esq.) e túneis de tratamento da fração orgânica (dir.). Fonte: Methanum</i></b> .....	34
<i>Figura 8 – Vista frontal dos túneis abertos, com detalhe do sistema de suporte para os materiais, isolando-os da porta hermética (esq.) e vista dos túneis com as portas fechadas, durante o processo de tratamento anaeróbico. Fonte: Methanum.</i> .....	34
<b><i>Figura 9 – Vista do interior dos túneis, com detalhe dos canais de coleta de lixiviado (esq.) e vista superior do sistema de coleta de biogás e lixiviado da Unidade. Fonte: Methanum.</i></b> .....	35
<b><i>Figura 10 – Vista do reator de tratamento de lixiviado (esq.) e laboratório de apoio (dir.). Fonte: Methanum.</i></b> .....	35
<i>Figura 11 – Resíduos sólidos orgânicos provenientes de grandes geradores</i> .....	36
<b><i>Figura 12 – Vista dos resíduos de poda em granulometria fina</i></b> .....	36
<i>Figura 13 – Preparação da mistura de resíduos de alimentos e de resíduos de poda fino</i> .....	37
<b><i>Figura 14 – Incorporação dos resíduos de poda fino ao lixo orgânico até a obtenção de 50-60% umidade</i></b> .....	37
<i>Figura 15 – Homogeneização da mistura de resíduos de alimentos e de resíduos de poda fino</i> .....	38
<i>Figura 16 – Mistura final na proporção 2:1 de resíduos de poda fino e resíduos sólidos orgânicos</i> .....	38
<b><i>Figura 17 – Aferição do teor de umidade da massa inicial de entrada no reator de metanização.</i></b> .....	39
<i>Figura 18 – Base da leira formada com a fração maior dos resíduos de poda processados</i> .....	40
<b><i>Figura 19 – Aspecto final das etapas de montagem: A - Mistura de resíduos de alimentos e de resíduos de poda fino; B - Base da leira com os resíduos de poda de granulometria grossa</i></b> .....	41
<b><i>Figura 20 – Aspecto final da leira</i></b> .....	42
<b><i>Figura 21 – Controle diário da temperatura.</i></b> .....	43
<b><i>Figura 22 – Análise microbiológica e seleção de colônias para a espectrometria de massa (Maldi-Tof).</i></b> .....	45
<b><i>Figura 23 – Caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos orgânicos de grandes geradores</i></b> .....	46
<b><i>Figura 24 – Caracterização gravimétrica da fração orgânica dos resíduos sólidos de grandes geradores.</i></b> .....	47
<b><i>Figura 25 – Caracterização gravimétrica do componente “outros” dos resíduos sólidos de grandes geradores</i></b> .....	47
<b><i>Figura 26 – Aspecto final do produto gerado após 55 dias de compostagem em leira de aeração passiva processado em peneira de 9mm</i></b> .....	49
<b><i>Figura 27 – Utilização do composto n recuperação de áreas degradadas.</i></b> .....	52
<b><i>Figura 28 – Contato com agricultores familiares de Magé para distribuição do composto.</i></b> .....	53

## Lista de Tabelas

<i>Tabela 1 – Responsabilidade pelo gerenciamento de cada tipo de resíduo .....</i>	<i>19</i>
<i>Tabela 2 – Classificação e Características de Diferente Tipo de Resíduos .....</i>	<i>20</i>
<i>Tabela 3 – Características da massa de resíduos utilizada na montagem da leira .....</i>	<i>40</i>
<i>Tabela 4 – Relatório emitido pelo espectrofotômetro (malditoff) mostrando as similaridades com as espécies bacterianas (em verde) .....</i>	<i>48</i>
<i>Tabela 5 – Perfil granulométrico do composto gerado com tempo de maturação de 20 dias na metanização e 15 dias na compostagem. ....</i>	<i>50</i>
<i>Tabela 6 – Caracterização gravimétrica do composto gerado após 55 dias de confinamento .....</i>	<i>50</i>
<i>Tabela 7 – Resultados dos ensaios físico-químicos do produto gerado após a metanização e a compostagem. ....</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 8 – Perfil microbiano do composto formado após metanização e compostagem. ....</i>	<i>51</i>

## 1. INTRODUÇÃO

A exigência de encaminhamento de apenas rejeitos aos aterros sanitários, conforme preconiza a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), aponta para a identificação de alternativas de tratamento da fração orgânica do RSU (FORSU), que poderá ser através de unidades descentralizadas de compostagem ou de biodigestores com aproveitamento energético, entre outras. Por este motivo, a COMLURB vem buscando parceiros e recursos para implantação de soluções consorciadas para a gestão da fração orgânica, visando a sua divergência do aterramento.

A COMLURB possui amplo histórico de desenvolvimento de projetos com instituições financiadoras e Universidades, desde sua criação, em 1975. Os principais projetos correlatos à presente proposta são apresentados, com ênfase às iniciativas voltadas para o tratamento adequado da fração orgânica através da compostagem e da biometanização (digestão anaeróbia). Tais sistemas visam a reciclagem da matéria e a redução dos impactos associados a esta fração, que representa mais da metade de todo o resíduo sólido urbano (RSU) produzido na cidade do Rio de Janeiro (52%), segundo dados do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS, 2016).

Na área de aprimoramento técnico-científico, a COMLURB, através do seu Centro de Pesquisas Aplicadas, possui parceria com a UFRJ, tendo desenvolvido, em 2014, um projeto em parceria com o Instituto de Nutrição Josué de Castro, com objeto correlato ao presente trabalho, sendo este intitulado “Compostagem de resíduos sólidos em reator: gestão no restaurante universitário da universidade Federal do Rio de Janeiro”. Esse projeto foi aprovado no edital FAPERJ 11/2014, de Apoio ao Estudo de Soluções para Problemas Relacionados ao Meio Ambiente, e teve como objetivo avaliar o processo de compostagem em reator como alternativa de gestão e tratamento dos resíduos orgânicos gerados no Restaurante Universitário da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

A motivação deste trabalho foi a constatação de que a forma de geração e de destinação final de resíduos sólidos orgânicos resultantes da produção de refeições em larga escala está em desacordo com o que determina a Política Nacional de Resíduos Sólidos, envolvendo transtornos sociais, ambientais e econômicos, visto que correspondem a metade de todo o quantitativo de resíduos sólidos urbanos coletados na cidade. A compostagem em reator tem se mostrado uma solução adequada e para o tratamento desses resíduos, em particular quando se dispõe de área limitada, e demanda menor esforço operacional por não requisitar de revolvimento.

Como consequência desta empreitada e mantendo a relação com o objeto originário, esse projeto foi ampliado para um Projeto de Extensão, visando a promoção da alimentação saudável nas Escolas Municipais, através do treinamento de agentes preparadores de alimentos (APA). O objetivo deste componente de extensão foi capacitar os funcionários que atuam na preparação de alimentos em cozinhas escolares do município do Rio de Janeiro, visando promover a qualidade de vida por meio do preparo e consumo consciente de uma alimentação adequada.

Além disso, em consonância com o art. 3º, inc. VII da Lei 12.305, o projeto de extensão irá abordar, junto aos APA, formas de destinação final ambientalmente adequada dos resíduos orgânicos através da reutilização, da reciclagem, da compostagem e da utilização de cascas em preparações, além do uso consciente da água durante a higienização de vegetais e carnes, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais. A abordagem da ação é teórico-prática (modalidade presencial), incluindo dinâmicas e oficinas culinárias, realizadas de modo dialógico, a fim de possibilitar a incorporação dos conceitos e propostas acerca dos temas em tela.

Na área de desenvolvimento tecnológico, a COMLURB é parceira da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e da empresa Methanum na execução de um projeto inovador voltado para a valorização da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU) através de uma Unidade de Biometanização, promovendo o tratamento e a estabilização deste material associado a produção de biogás para uso energético. A Unidade foi projetada para receber e tratar até 70 toneladas de material orgânico por dia, e resultou em um Termo de Cooperação entre as partes visando a consecução dos objetivos do projeto.

O projeto obteve recursos de Subvenção Econômica da ordem de R\$10.000.000,00 (dez milhões de reais) junto ao Fundo Tecnológico (FUNTEC) do BNDES (Edital 2010), tendo como objetivo o desenvolvimento de uma tecnologia nacional de biometanização da FORSU, baseada em um processo extra-seco que alia robustez, alta eficiência, simplicidade operacional e custo competitivo, voltada para resíduos urbanos com alto índice de impróprios, tenham sido estes segregados ou não na fonte.

O foco central da tecnologia é solucionar os problemas relativos à acumulação dos materiais sedimentáveis no interior do reator, comuns em sistemas anaeróbios úmidos ou secos; reduzir os custos de implantação e manutenção dos sistemas de introdução e extração da FORSU devido à não utilização de bombas; possibilitar o tratamento de materiais com percentual elevado de impróprios, não submetidos à segregação na fonte; minimizar o tempo de pós-tratamento do material digerido por meio do aproveitamento do calor excedente dos motores de cogeração para

secagem do material; e otimizar a produção de biogás, por meio de operação assistida e controle do processo metanogênico.

O projeto contou com efetiva participação de uma vasta equipe técnica da COMLURB, desde sua concepção até a atual etapa de implementação, tendo obtido também suporte jurídico para obtenção das licenças para a implantação e operação desta tecnologia inovadora na ETR do Caju.

Atualmente, a instalação encontra-se em operação no Ecoparque do Caju, com a produção de um composto orgânico, que surge enquanto subproduto do processo, que é desenvolvido na Unidade de Biometanização.

Com a ampliação do tratamento da parcela orgânica do resíduo urbano, a produção de composto deverá ser objeto de controle ambiental e ter garantido o escoamento e a utilização deste material para os diversos fins (paisagísticos, florestais e agrícolas), garantindo, desta forma, um aumento da vida útil do CTR-Rio, em Seropédica.

Além dar uma destinação final ambientalmente adequada a uma parte significativa da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos (FORSU) e ampliar a produção de composto, o presente projeto deve se comprometer em criar ações conscientizadoras junto aos grandes geradores de resíduos orgânicos para que se estimule a segregação na fonte. Desse modo, garante-se que o composto orgânico produzido seja de excelente qualidade.

Devido a suas características técnicas, o presente projeto visa implantar um sistema de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articular com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido, integrando-se a todas as ações da prefeitura que façam interface com seus objetivos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Desenvolver ações coordenadas voltadas para a destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos orgânicos.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar a gravimetria dos resíduos sólidos orgânicos de grandes geradores do ramo alimentício;

- Implementar ações de conscientização e capacitação, visando a ampliação e o aperfeiçoamento da segregação dos resíduos em três frações (orgânica, recicláveis e rejeitos) por parte do público-alvo (grandes geradores);
- Verificar os parâmetros de qualidade (físico-químicos e microbiológicos) do composto orgânico gerado com base na Instrução Normativa nº 25/2009 – MAPA;
- Reduzir a quantidade de resíduos sólidos que vai para o aterro sanitário, aumentando a sua vida útil;
- Reduzir os poluentes lançados na atmosfera, que são resultantes da queima do combustível fóssil usado no transporte do RSU.
- Promover ações estratégicas para viabilizar e/ou otimizar o escoamento e uso do composto orgânico gerado no âmbito do projeto;

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.**

Em termos mundiais, a produção de resíduos sólidos é uma consequência inevitável da atividade humana e o seu gerenciamento impacta diretamente a saúde pública e o meio ambiente. O avanço tecnológico das últimas décadas, se por um lado, possibilitou conquistas surpreendentes no campo das ciências, por outro, contribuiu para o aumento da diversidade de produtos com componentes e materiais de difícil degradação e maior toxicidade (VERGARA & TCHOBANOGLIOUS, 2012). Em todo o mundo, as pessoas descartam quantidades crescentes de resíduos e a sua composição está mais complexa do que nunca, graças à difusão de produtos eletrônicos e plásticos. Mais de um bilhão de toneladas de resíduos sólidos urbanos são atualmente descartados em todo o mundo, e especialistas preveem que em 2025 esse número atingirá 2,2 bilhões de toneladas por ano (GIUSTI, 2009).

A produção de resíduos sólidos está ligada diretamente ao desenvolvimento da região. Quanto mais desenvolvida, sobretudo quanto à industrialização, maior o volume e a massa dos resíduos e dos dejetos gerados (GOMEZ et al., 2012). Existem fatores que também contribuem para este aumento, tais como hábitos e costumes da população, densidade demográfica, entre outros (COMLURB, 2013). Os países mais pobres tendem a apresentar maiores frações orgânicas em seus resíduos, e os mais ricos apresentam composições de resíduos mais complexas (FAROUHAR et al., 2012; BARR et al., 2013; OTHMAN et al., 2013).

No Brasil, são coletadas cerca de 0,95 Kg de resíduos sólidos urbanos (RSU) diariamente (IBGE, 2010) por habitante (SNIS, 2019). Entende-se por RSU os resíduos sólidos domiciliares e os

resíduos de limpeza urbana (originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana). Segundo estudos da ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública (2017), o aumento da geração de RSU no Brasil supera a taxa de crescimento populacional urbano, o que indica a necessidade de o país avançar em direção à gestão integrada dos resíduos sólidos. A instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos no ordenamento jurídico brasileiro em 2010, e sua integração à Política Nacional de Meio Ambiente e à Política de Saneamento Básico, completou a estrutura regulatória necessária para propiciar o gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil, que deve estar associado à seleção de estratégias e tecnologias desde a geração até o destino final.

## **3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS**

### **3.2.1 Definição e Classificação**

É importante entender a classificação dos resíduos, para assim, pensar na gestão e no gerenciamento desses.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólidos e semissólidos, que resultam de atividades da comunidade, de origem: industrial, doméstica, de serviços de saúde, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Consideram-se também resíduos sólidos os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determina dos líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpo d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004).

Conforme a literatura, os resíduos sólidos podem ser classificados de várias maneiras, no entanto, as mais comuns são quanto a sua origem e aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente (periculosidade).

De acordo com a origem ou a natureza, os resíduos podem ser agrupados em: doméstico/residencial, comercial, público, domiciliar especial (engloba entulhos de obra, baterias e pilhas, lâmpadas fluorescentes e pneus), e aquele de fontes especiais (que abrange os resíduos industriais, os agrícolas, os radioativo, os de serviços de saúde, os de portos, aeroportos e terminais rodoferroviários) (MONTEIRO *et al.*, 2001).

Já a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) classifica os resíduos sólidos quanto à origem da seguinte forma: a) resíduos domiciliares; b) resíduos de limpeza urbana; c) resíduos

sólidos urbanos; d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico, f) resíduos industriais; g) resíduos de serviços de saúde; h) resíduos de construção civil; i) resíduos agrossilvopastoris; j) resíduos de serviços de transporte; k) resíduos de mineração.

Conforme os dados do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2011), os resíduos agropecuários englobam resíduos provenientes das atividades da agricultura e da pecuária, esse setor é um dos maiores geradores de resíduos sólidos orgânicos. A responsabilidade pelo gerenciamento e gestão dos resíduos dependerá da fonte geradora.

Conforme a Tabela 1, as atividades de processamento mínimo geram resíduos de origem agropecuária. Dessa forma, a responsabilidade pelo gerenciamento destes resíduos é do próprio gerador.

**Tabela 1 – Responsabilidade pelo gerenciamento de cada tipo de resíduo**

Tipo de Origem (origem)	Responsável
Domiciliar	Prefeitura
Comercial	Prefeitura*
Público	Prefeitura
Resíduos de varrição, poda e capina	Prefeitura
Industrial	Gerador
Serviços de Saúde	Gerador
Agropecuário	Gerador
Entulho (resíduos de construção)	Gerador
Radioativo	Comissão Nacional de Energia Nuclear
ETAs e ETEs	Gerador
Atividades de mineração	Gerador
Portos, aeroportos e terminais ferroviários e rodoviários	Gerador

\*Dependendo do volume, deve seguir a legislação municipal específica.

Fonte: Schalch *et al.* (2002) adaptado pelo autor.

Já quanto à periculosidade, a classificação segue um documento especial, NBR 10.004/04. Conforme esta, os resíduos sólidos podem ser classificados em duas classes, perigosos e não perigosos. Este, por sua vez, pode ser subdividido em inertes e não inertes como está descrito na Tabela 2.

**Tabela 2 – Classificação e Características de Diferente Tipo de Resíduos**

Tipo de Resíduos	Classificação	Características
Resíduos Classe I	Perigosos	Aqueles que apresentam algum tipo de periculosidade, ou algum tipo de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, ou constem nos anexos A ou B da NBR 10004:2004.
Resíduos Classe II A	Não Perigosos Não inertes	Aqueles que não se encaixa nas classificações dos resíduos classe I ou resíduos classe II B. Os resíduos de classe II A costumam apresentar propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
Resíduos Classe II B	Não Perigosos Inertes	Aqueles que em contato com água desionizada ou destilada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, apresentando aspecto de cor, turbidez, dureza e sabor, de acordo com o anexo G da NBR 10004:2004.

Fonte: NBR 10004 (2004).

Diante dessas informações, os resíduos sólidos orgânicos são considerados não perigosos e não inertes. Dessa forma, são enquadrados como Resíduos Classe II - A.

### 3.2.2 Política Nacional de Resíduos Sólidos

SILVA *et al.* (2017) fizeram um estudo da evolução histórica dos resíduos sólidos na legislação ambiental brasileira. Nesse trabalho afirmam que apenas com a Lei de Crimes Ambientais – Lei nº 9.605 (BRASIL, 1998) e a Política Nacional de Saneamento Básico - Lei nº 11.445 (BRASIL, 2007) o manejo dos resíduos sólidos começaram a ganhar relevância legal. Contudo, somente em 2010, com a publicação da Política nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos ganharam forças e visibilidade.

A Lei nº 12.305, foi publicada em agosto de 2010, instituindo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Trata-se da Lei mais atual e completa sobre os resíduos sólidos, abordando vários conceitos e definições importantes. Essa Lei traz os principais princípios e diretrizes para à gestão integrada e o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos, além disso, enfatiza a importância da reciclagem e tratamento dos resíduos. (BRASIL, 2010).

Grande parte dos resíduos sólidos possui potencial de aproveitamento e, por isso, devem ser tratados e recuperados por processos tecnológicos economicamente viáveis. Por isso, a PNRS afirma que apenas os rejeitos devem ser encaminhados para os aterros sanitários. Dessa forma, a Política Nacional de Resíduos Sólidos objetiva reduzir a geração de resíduos, reaproveitá-los e dispor adequadamente aqueles classificados como rejeitos. A FIGURA XX demonstra a hierarquia das ações no manejo de resíduos sólidos abordado no art. 9º da PNRS.



Fonte: PNRS adaptado pelo autor.

**Figura 1** – Hierarquia das ações no manejo de resíduos sólidos, de acordo com Art. 9º da Lei nº 12.305/2010.

A PNRS afirma que os grandes geradores de resíduos são responsáveis pela: coleta, transporte, tratamento, destinação dos respectivos resíduos sólidos e disposição final dos rejeitos, ademais, estão sujeitos à elaboração de plano de gerenciamento de resíduos sólidos se exigido pelo órgão competente do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA) (BRASIL, 2010). Em 2016, para reforçar essa responsabilidade, foi instituída a Lei nº 5.610 (BRASIL, 2016). A mesma aborda as responsabilidades dos grandes geradores de resíduos sólidos e dá outras providências.

Logo, como as atividades do ramo alimentício, como restaurantes, supermercados e centros de distribuição, geram grande quantidade de resíduos, são bons exemplos de grandes geradores. Sendo assim, são responsáveis pelos seus resíduos e devem apresentar caso solicitado, o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

### 3.2.3 Gestão e Gerenciamento dos Resíduos Sólidos

Os termos gestão e gerenciamento são utilizados como sinônimo por muitas pessoas. No entanto, a PNRS - Lei nº 12.305/2010 diferencia esses termos, no art.3º, incisos X e XI.

Art. 3º. [...] X – gerenciamento de resíduos sólidos: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei; XI – gestão integrada de resíduos sólidos: conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010).

Dessa forma, o gerenciamento possui o caráter executivo e privado, englobando as atividades como: mineração, indústria, agropecuária, construção civil, serviços de saúde e comércio de grande porte com resíduos perigosos (PORTELLA; RIBEIRO, 2014).

Já a gestão integrada é de responsabilidade municipal. Ferreira *et al.* (2013) abordam que a gestão deve ser vista como:

Ações mais gerais, de planejamento, com diretrizes que considerem soluções apropriadas do ponto de vista ambiental, mas sem perder de vista as dimensões econômica, social e cultural, na perspectiva da sustentabilidade, garantindo o controle social, atividade tipicamente de Estado.

### 3.2.4 Resíduos Sólidos Orgânicos

A agroindústria contribui de forma significativa com a economia do Brasil, participação de aproximadamente 5,9% no PIB brasileiro. Englobando atividades de beneficiamento, transformação e processamento de matérias-primas provenientes da agropecuária, integrando o meio rural com a economia de mercado (EMBRAPA, 2019). O crescimento desse setor implica diretamente no aumento da geração de resíduos agroindustriais.

A etapa mais preocupante do manejo de resíduos orgânicos é a destinação final ambientalmente adequada e segura. Segundo dados da FAO (2013) a produção mundial de resíduos agroindustriais chegou a 1,3 bilhão ton/ano, e 1/3 das partes comestíveis dos alimentos destinados ao consumo humano se perdem ou são desperdiçados. Esse tipo de resíduo tende a

causar impactos socioambientais negativos, pois a disposição inadequada pode provocar poluição, contaminação do solo e água, além de atrair vetores de doenças (SEABRA *et al.*, 2016). Dessa forma, esses resíduos quando não aproveitados se tornam um passivo ambiental devido à geração de lixiviado e gases nos aterros.

Nos últimos anos, com a modernização da agricultura, os sistemas agrícolas se intensificaram e a produção de alimentos cresceu. Segundo diagnóstico realizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (2012), as atividades agroindustriais associadas à agricultura geram mais de 291 milhões de toneladas de resíduos orgânicos por ano. Vale ressaltar que esse estudo abordou apenas 15 principais culturas brasileiras, e foi realizado com base na produção do ano de 2009. Já o setor pecuário gerou em torno de 1,7 bilhões de t/ano de dejetos.

De acordo com os dados levantados pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2017), são gerados anualmente 800 milhões de toneladas de resíduos orgânicos, somando as quantidades provenientes das atividades industriais e agrossilvopastoris.

A cidade do Rio de Janeiro realiza anualmente o diagnóstico dos Resíduos Sólidos Domiciliares através do estudo da Gravimetria (Figura 2). Em 2018, esse estudo revelou que 53,2% dos RSD coletados na cidade correspondem à fração orgânica. Isso significa que cerca de 5.000 toneladas por dia de matéria orgânica putrescível é disposta em aterro sanitário.

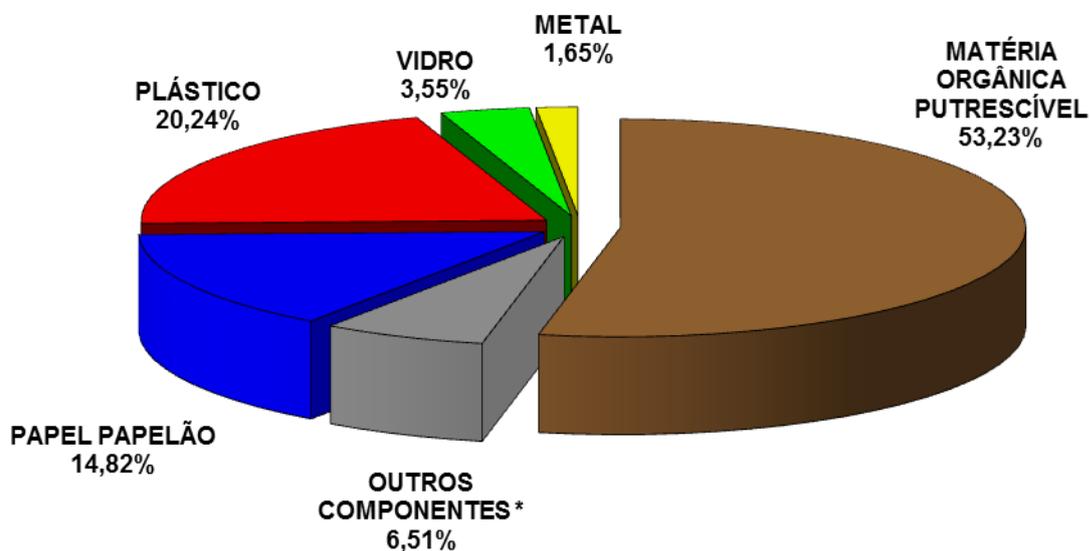


Figura 2 – Componentes dos Resíduos Sólidos Domiciliares detectados pela Gravimetria dos resíduos coletados na cidade do Rio de Janeiro, em 2018.

### **3.3 Alternativas de Destinação Final para os Resíduos Orgânicos**

#### **3.3.1 Aterro Sanitário**

Os aterros sanitários são locais selecionados, construídos e dimensionados conforme critérios ambientais. Apresentando mecanismos para proteção da saúde pública e do meio ambiente, como: impermeabilização do solo, drenagem e tratamento do chorume e do gás (PORTELLA; RIBEIRO, 2014, MMA, 2017). Costa e Ribeiro (2013) asseguram que os aterros sanitários adotam medidas que minimizam os impactos ambientais, e por isso são considerados lugares seguros e eficientes para disposição final de resíduos sólidos urbanos (FIORILLO, 2011). Quando a fração orgânica é encaminhada para os aterros sanitários ocorre a decomposição anaeróbica dos resíduos, gerando o lixiviado (o qual pode contaminar o solo e as águas superficiais ou subterrâneas), e formação de gases tóxicos (que são lançados na atmosfera ou se acumulam no subsolo) (EL-FADEL *et al.*, 1997, GOUVEIA; PRADO, 2010).

Segundo a PNRS, Lei nº 12.305/2010, os aterros sanitários só devem ser uma alternativa caso o reuso e/ou reciclagem se torne um prática economicamente inviável. Diante deste fato, fica evidente que o aterro sanitário não é a melhor alternativa de destinação final para os resíduos orgânicos, pois resíduos como esses podem ser reciclados e aproveitados, aumentando a vida útil dos aterros sanitários. No entanto, ainda esse é o método mais utilizado para dispor os RSU (ERSES *et al.*, 2005, RENOUE *et al.*, 2008, BEYLOT *et al.*, 2013). No entanto, para Narayana (2009) os aterros estão se tornando cada vez mais caros por causa do aumento dos custos de construção e operação.

#### **3.3.2 Incineração**

Esse processo baseia-se na combustão do material, reduzindo grande parte do volume e eliminando a periculosidade dos resíduos sólidos, restando basicamente cinzas. Durante o processo de queima, o calor gerado pode ser aproveitado fornecendo energia elétrica e vapor (SEABRA *et al.*, 2016). Por ser um sistema complexo e gerar gases extremamente perigosos durante todo o processo, a incineração demanda alto investimento em tecnologia e mão de obra especializada, (MMA, 2017).

Essa técnica vem sendo muito utilizado para tratar os resíduos municipais, principalmente em cidades de grande porte, pois não demanda grandes áreas, uma vez que, essa técnica reduz o volume e a massa dos resíduos até uma ordem de 80%. No entanto, as cinzas restantes no incinerador podem conter materiais, incluindo metais pesados e compostos orgânicos, como dioxinas etc (NARAYANA, 2009).

### 3.3.3 Compostagem

Segundo Teixeira *et al.* (2004), a compostagem é uma ferramenta que possibilita tratar e aproveitar os resíduos sólidos de origem orgânica seja de animal ou vegetal. A biomassa final é denominada como composto orgânico, sendo um produto estável e rico em nutrientes (KIEHL, 1985, KIEHL, 2004, SUNDBERG, 2005, WESTERMAN; BICUDO, 2005, ALVAREZ *et al.*, 2006, FIALHO, 2007, MASSUKADO, 2008), além disso, livre de agentes fitotóxicos e patógenos (WICHUK; MCCARTNEY, 2007). Hobson *et al.* (2005) afirma que a compostagem pode ser aplicada em larga escala em leiras ou pilhas, ou em pequena escala com uma composteira caseira (ANDERSEN *et al.*, 2011). Esse processo visa tratar estrumes, resíduos verdes no geral ou frações orgânicas dos resíduos sólidos urbanos (GOYAL *et al.*, 2005).

A técnica de compostagem é definida por diversos autores como um processo aeróbio controlado, onde os microrganismos degradam a fração orgânica biodegradável, liberando vapor de água, gás carbônico e calor (SUNDBERG, 2005). Durante o processo de compostagem há a sucessão de comunidades microbianas (INSAM; de BERTOLI, 2007, MEHTA *et al.*, 2014), elas variam de acordo com a temperatura da pilha. Tal prática permite a transformação de resíduos sólidos orgânicos em insumos para o solo, agregando valor ao resíduo. Yu e Shen (2016) afirmam que a compostagem é um tratamento barato, eficiente e sustentável para resíduos sólidos. Assim como Narayana (2009) e Nagarajan *et al.* (2014) acreditam que essa técnica é a opção mais econômica e sustentável para a gestão de resíduos orgânicos, pois trata-se de um processo natural para o tratamento de resíduos orgânicos. Apesar de ser uma técnica relativamente simples, segura e barata, requer condições ideais (temperatura, pH, oxigênio, microrganismos, umidade, relação C/N e granulometria) para evitar a geração de odores e proliferação de vetores de doença (KIEHL, 2004).

### 3.3.4 Biodigestão anaeróbia

É uma técnica utilizada pelo mundo todo para tratar resíduos em escala industrial, agrícola e até mesmo municipais. A tecnologia de biodigestão anaeróbia, ou metanização se baseia na degradação e na estabilização da fração orgânica através de microrganismos anaeróbicos, gerando gases e uma nova biomassa. (CHERNICHARO, 1997; KELLEHER *et al.*, 2002). Dessa forma, os subprodutos formados, biogás e biofertilizantes, podem ser aproveitados (MMA, 2017). Chen *et al.* (2008) acreditam que é uma prática atraente no tratamento de resíduos, além de possibilitar o controle da poluição e a recuperação de energia.

Apesar de também reciclar a fração orgânica, essa tecnologia quando comparada com a compostagem, demanda uma tecnologia mais complexa e mão de obra mais específica. Além disso, a infraestrutura deve ser projetada para o aproveitamento do biogás (MMA, 2017).

O processo biológico de tratamento da matéria orgânica via metanização, valoriza os subprodutos gerados (biogás e biossólidos). O aproveitamento energético dependerá da qualidade e pureza do biogás gerado, pois durante o processo de biodegradação anaeróbia vários gases são produzidos (GALANTE *et al.*, 2012), e muitos desses subprodutos são indesejáveis, como: dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio, siloxanos, partículas sólidas e água. Por isso, o afluente a ser tratado influenciará diretamente na eficiência do processo (CONVERTI *et al.*, 1999, DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008).

### **3.4 Legislações brasileiras relacionadas à compostagem e ao composto orgânico**

De acordo com o Art. 3º, inciso XIV, da Política Nacional de Resíduos Sólidos, os processos, como a compostagem, que promovem a transformação dos resíduos orgânicos em fertilizantes e adubos podem ser denominados como processos de reciclagem. Assim, a fração orgânica não deve ser considerada rejeito, e as estratégias de gestão e gerenciamento desses resíduos (em qualquer escala) devem promover a sua reciclagem.

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 481/2017 estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem dos resíduos orgânicos. Logo, todas as unidades de compostagem devem atender aos requisitos desta resolução. Algumas das medidas são: proteção do solo por meio de impermeabilização; adoção de medidas para tentar minimizar a emissão de odores e lixiviado; controle termofílico, entre outros.

Já a Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009 do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2009), atribui especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura.

A **Lei nº 6.894/80, alterada pela Lei 12.890/2013**, dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, e dá outras providências.

O **Decreto nº 4.954/2004**, com algumas alterações pelo Decreto nº 8.384/2014, aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e

fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências.

A **Instrução Normativa SDA nº 27**, de 2006, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, alterada pela Instrução Normativa SDA nº 7/2016, estabelece os limites de concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas para produzir, importar ou comercializar fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes.

A **Instrução Normativa GM nº 53**, de 2013, com as alterações da IN nº 6, de 2016. Estabelece as disposições e critérios para as definições, a classificação, o registro e renovação de registro de estabelecimento, o registro de produto, a autorização de comercialização e uso de materiais secundários, o cadastro e renovação de cadastro de prestadores de serviços de armazenamento, de acondicionamento, de análises laboratoriais, de empresas geradoras de materiais secundários e de fornecedores de minérios, a embalagem, rotulagem e propaganda de produtos, as alterações ou os cancelamentos de registro de estabelecimento, produto e cadastro e os procedimentos a serem adotados na inspeção e fiscalização da produção, importação, exportação e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes, remineralizadores, substrato para plantas e materiais secundários; o credenciamento de instituições privadas de pesquisa; e os requisitos mínimos para avaliação da viabilidade e eficiência agrônômica e elaboração do relatório técnico-científico para fins de registro de fertilizante, corretivo, biofertilizante, remineralizador e substrato para plantas na condição de produto novo.

Em consonância com tais legislações, reconhece-se que a disposição inadequada da FORSU gera passivos de grandes impactos ambientais, como emissões de gases do efeito estufa (GEE), contaminação de águas superficiais e subterrâneas por lixiviado, atração e proliferação de vetores de doenças e prejuízos à saúde pública. A cidade do Rio de Janeiro gera aproximadamente 8.600 t.d-1 de RSU, composto principalmente por matéria orgânica (53%). Cerca de 40% desse total (~ 3.500 td-1) é direcionado para a Unidade de Transferência de Resíduos do Rio de Janeiro (COMLURB), onde é transferido para o transbordo de caminhões e posteriormente transportado para disposição final no Aterro de Seropédica, distante 80 km do bairro do Caju. Isso causa impactos negativos nas mudanças climáticas e na mobilidade urbana no Rio de Janeiro, devido ao transbordo de tráfego de caminhões e às emissões de gases de efeito estufa (GEE) por esses caminhões a diesel. Vários estudos em aterros informaram que porções significativas de metano podem ser emitidas para o ambiente, variando de 20 a 70% do total de metano gerado, mesmo quando sistemas de coleta de biogás e camadas de recuperação são usados .

Nesse cenário, desviar resíduos orgânicos dos aterros é atualmente uma meta municipal. Além disso, a gestão e o tratamento adequado dos resíduos orgânicos são essenciais para atender aos objetivos estratégicos da Política Nacional de Resíduos Sólidos e da Política Brasileira sobre Mudança do Clima. Para atender a essas diretrizes, a metanização da FORSU tem sido destacada como uma alternativa principal, pois os seguintes principais benefícios podem ser alcançados: mitigação de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e poluentes de lixiviados; redução de custos de disposição final; produção de biogás, uma fonte de energia renovável; e produção de biossólidos, um condicionador de solo e fertilizante agrícola.

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DO PROJETO**

O presente projeto prevê a integração de ações a fim de abordar o problema de gestão de resíduos de forma sistêmica, mas entendendo o papel dos diferentes atores sociais na proposição de soluções adequadas para a segregação dos resíduos e reciclagem de suas frações orgânica e inorgânica. Para tanto, prevê a execução de um componente de maior escala, focado em grandes geradores de orgânicos, tendo como local de execução e apoio logístico, a Estação de Transferência de Resíduos (ETR) do Caju, uma das 5 (cinco) ETRs licenciadas e em plena operação no município.

A ETR Caju está localizada nas coordenadas 22°52'30.67"S 43°13'48.23"O. Próxima ao centro geométrico de coleta da Zona Sul e do Centro da cidade, a ETR atende integralmente à AP 1 e à AP 2, além de receber parte do lixo da AP 3, subdivida em três subáreas. A ETR Caju atende a região AP3.1 (com exceção de Penha e Vigário Geral) e AP3.2, integralmente, como mostra a Figura 4.



Fonte: PMGIRS, 2015

**Figura 3 – Município do Rio de Janeiro subdividido nas Áreas de Planejamento.**

A Estação do Caju recebe cerca de 4.000 toneladas diárias de RSU (média semanal, devido a variações entre os dias da semana), coletados em uma área de mais de 330 km<sup>2</sup>, atendendo a uma população de mais de 3 milhões de habitantes, segundo dados do Censo 2010 (IBGE, 2010). Nesta ETR prevê-se a instalação de um sistema de compostagem com capacidade para até 100 t/dia de resíduos orgânicos segregados na fonte, proveniente de um ou mais grandes geradores a serem selecionados e que atualmente destinam seus resíduos à ETR Caju. A Figura 4 ilustra a Estação de Transferência do Caju.



**Figura 4 – Estação de Transferência de Resíduos do Caju.**

#### **4.2 CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS DE GRANDES GERADORES**

A caracterização gravimétrica consiste na determinação das frações percentuais de diferentes tipos de resíduos obtidos por meio de amostragens dos resíduos coletados nos caminhões que fazem a coleta e o transporte de resíduos sólidos orgânicos de grandes geradores, como supermercados e centros de distribuição de alimentos (Figura 5).



**Figura 5 – Resíduos sólidos orgânicos provenientes de grandes geradores**

Do conteúdo de cada caminhão, será retirado 1 contêiner de 240L. Os resíduos serão homogeneizados com o apoio de uma pá mecânica.

As amostras serão coletadas segundo o método de quarteamento (ASTM, 2003). Após a homogeneização, os resíduos serão divididos em quatro partes iguais. De cada parte desta, serão retiradas duas amostras de posições diametralmente opostas. Cada amostra equivalerá a um contêiner de 200L. O total amostrado nesta etapa será de aproximadamente 1600L. O procedimento de quarteamento será repetido por mais três vezes nas amostras fracionadas, com diminuição do total amostrado para 800L, 400L e 200L (amostra final). Da amostra de 200L, realiza-se a separação dos materiais. A amostra será separada em diferentes componentes: matéria orgânica, recicláveis e outros. Dentro do componente “matéria orgânica”, serão identificados o alimento cozido, os legumes, as verduras, a carne, as frutas e o abacaxi. Esse último componente será separado das frutas por ser um alimento de difícil degradação microbiana.

O objetivo dessa etapa é conhecer as características dos resíduos e seu potencial para compostagem.

#### **4.3 DISSEMINAÇÃO DO CONHECIMENTO PARA AS EQUIPES DA COMLURB E OUTRAS ENTIDADES PARCEIRAS**

O objetivo desta etapa é a transferência do conhecimento, desenvolvido dentro da própria empresa, através de cursos de capacitação, tendo como público-alvo os empregados da nossa empresa envolvidos no projeto e de quaisquer entidades do ramo alimentício, potenciais geradores de resíduos orgânicos. Serão responsáveis pela disseminação do conhecimento quadros pertencentes à Gerência do Ecoparque do Caju e à Gerência de Pesquisas Aplicadas. A disseminação do conhecimento será realizada por meio de seminários internos a serem elaborados e executados pelos participantes da Capacitação.

Estima-se a capacitação de empregados da Comlurb e de representantes dos Grandes Geradores (Figura 6).



**Figura 6 – Estrutura para capacitação de empregados e representantes do ramo alimentício.**

#### **4.4 IMPLEMENTAÇÃO DA INICIATIVA DE CONSCIENTIZAÇÃO A SER CONDUZIDA JUNTO AO PÚBLICO-ALVO (GRANDES GERADORES).**

Esta etapa tem como objetivo a definição do escopo e realização de ações de conscientização visando a obtenção de uma melhor segregação das frações contidas nos resíduos. A fração orgânica (que será encaminhada para a compostagem), a fração reciclável (que será destinada à cadeia de valor pertinente) ou os rejeitos (a serem destinados à disposição final em aterros sanitários). O objetivo é orientar sobre a importância da segregação na fonte para a correta destinação destes materiais, que em muitos casos representam recursos que podem ser reinsertos na cadeia de produção, representando economia de materiais e de importantes insumos (como água, energia etc) na produção de novos materiais. Além disso, a correta separação dos materiais evita contaminação daqueles que possuem potencial de reutilização e reciclagem.

As ações serão realizadas de forma diferenciada, tendo como base o público-alvo ao qual

se destina, e os resultados esperados das iniciativas:

As ações voltadas para os grandes geradores de orgânicos que atualmente destinam seus resíduos para a ETR Caju, visam melhorar a qualidade da fração orgânica gerada nestes empreendimentos e que atualmente é destinada à disposição final, e que será divergida e encaminhada à compostagem a ser implantada pelo projeto. Desta forma, otimiza-se, também, a qualidade do composto final decorrente do tratamento implementado, evitando contaminação e presença de materiais impróprios que podem interferir no escoamento e uso deste material. Desta forma, atende-se, também, ao disposto pelas normativas pertinentes, que estabelece que a parcela orgânica direcionada à compostagem deve ser decorrente de segregação na fonte que considere as três frações a serem trabalhadas (orgânicos, recicláveis e rejeitos).

Os resultados da capacitação serão avaliados por meio da quantidade e qualidade da fração orgânica destinada pelo público alvo para a ETR Caju. Para tanto, prevê-se a realização de caracterização gravimétrica por amostragem deste material, a fim de determinar o percentual de impróprios presentes na fração orgânica a ser compostada.

#### **4.5 IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE COMPOSTAGEM OTIMIZADA NA ETR CAJU, COM CAPACIDADE PARA TRATAR ATÉ 100 TON/DIA DE RESÍDUOS ORGÂNICOS.**

Essa etapa integra as atividades de concepção final e implantação do sistema de compostagem para tratamento dos resíduos orgânicos, provenientes dos grandes geradores selecionados pelo projeto, incluindo as etapas de preparação do solo e adoção das medidas de controle ambiental necessárias para minimizar a geração de lixiviado e de chorume, bem como a emissão de odores, isolamento e sinalização da área, conforme previsto por normativa pertinente.

O sistema de biometanização, já implantado na ETR Caju, passará a compor as instalações de gestão e tratamento de resíduos desta Unidade. Esse sistema possibilitará a inclusão diária de 100 toneladas adicionais de orgânicos a serem tratadas in loco, e que serão, portanto, divergidas do Aterro Sanitário de Seropédica, para onde se destinam os resíduos sólidos gerados no município do Rio de Janeiro. Essa etapa será de responsabilidade de funcionários do quadro permanente da COMLURB com atuação direta ou indireta nesta ETR.

A unidade de biometanização opera em regime de bateladas sequenciais, onde o resíduo é constantemente introduzido e extraído de reatores retangulares (“túneis”) dispostos em série, que recebem, sequencialmente, a FORSU a ser tratada. Um reator auxiliar, em formato cilíndrico, é utilizado como Unidade Produtora de Inóculo (UPI), coletando os líquidos lixiviados gerados nos túneis para que os mesmos sejam homogeneizados a uma comunidade bacteriana já estabelecida, de forma que sejam inoculados por microrganismos metanogênicos. Na parte superior de cada

túnel existe um sistema para aspersão do inóculo proveniente da UPI sobre os resíduos depositados nos túneis, possibilitando o contínuo aporte de micro-organismos metanogênicos ao material a ser tratado, otimizando o processo de degradação anaeróbia.

O foco central da tecnologia é solucionar os problemas relativos à acumulação dos materiais sedimentáveis no interior do reator, comuns em sistemas anaeróbios úmidos ou secos; reduzir os custos de implantação e manutenção dos sistemas de introdução e extração da FORSU devido à não utilização de bombas; possibilitar o tratamento de materiais com percentual elevado de impróprios, não submetidos à segregação na fonte; minimizar o tempo de pós-tratamento do material digerido por meio do aproveitamento do calor excedente dos motores de cogeração para secagem do material; e otimizar a produção de biogás, por meio de operação assistida e controle do processo metanogênico.

As Figuras 7 a 10 ilustram a Unidade de Biometanização, em operação no Caju.



**Figura 7 – Vista geral da Unidade de Biometanização, com área de apoio e laboratório (esq.) e túneis de tratamento da fração orgânica (dir.). Fonte: Methanum**



**Figura 8 – Vista frontal dos túneis abertos, com detalhe do sistema de suporte para os materiais, isolando-os da porta hermética (esq.) e vista dos túneis com as portas fechadas, durante o processo de tratamento anaeróbio. Fonte: Methanum.**



**Figura 9 – Vista do interior dos túneis, com detalhe dos canais de coleta de lixiviado (esq.) e vista superior do sistema de coleta de biogás e lixiviado da Unidade. Fonte: Methanum.**



**Figura 10 – Vista do reator de tratamento de lixiviado (esq.) e laboratório de apoio (dir.). Fonte: Methanum.**

O sistema de metanização é composto pelas seguintes unidades principais: i) seis reatores; ii) um reator híbrido que pode ser operado como metanização ou como túnel de secagem térmica; iii) um reator anaeróbico para estabilização de lixiviados e produção de inóculo, denominado como unidade de produção de inóculo (UPI); iv) um suporte de gás não pressurizado; v) um biofiltro para tratar os gases residuais. O processo de tratamento é dividido em 5 etapas integradas: i) recepção e acondicionamento de resíduos sólidos orgânicos de grandes geradores; ii) remessas sequenciais de metanização no estado sólido; iii) secagem do material digerido; iv) produção de inóculo; v) sistema de condicionamento, tratamento e utilização de biogás composto por: biofiltro, gasômetro, queimador, sistema de dessulfuração e um motor combinado de calor e potência (CHP).

Inicialmente, a FORSU é misturada a resíduos de poda com objetivo de reduzir a umidade da massa de entrada nos reatores, como mostram as Figuras 11 a 16.



**Figura 11 – Resíduos sólidos orgânicos provenientes de grandes geradores**

A mistura de resíduos orgânicos com os resíduos de poda em granulometria fina foi realizada até a obtenção de um teor de umidade inferior a 60%, de acordo com as recomendações de Kiehl (2002).



**Figura 12 – Vista dos resíduos de poda em granulometria fina**



**Figura 13 – Preparação da mistura de resíduos de alimentos e de resíduos de poda fino**



**Figura 14 – Incorporação dos resíduos de poda fino ao lixo orgânico até a obtenção de 50-60% umidade**



**Figura 15 – Homogeneização da mistura de resíduos de alimentos e de resíduos de poda fino**



**Figura 16 – Mistura final na proporção 2:1 de resíduos de poda fino e resíduos sólidos orgânicos**



**Figura 17 – Aferição do teor de umidade da massa inicial de entrada no reator de metanização.**

Após o período de geração de biogás e degradação da matéria orgânica, o produto resultante é retirado dos túneis para ser maturado em leiras.

#### **4.6 MONTAGEM DA LEIRA**

A leira foi formada com resíduos de poda, coletados e preparados pela Comlurb com o auxílio dos equipamentos de trituração e de peneiramento e misturados com resíduos orgânicos de grandes geradores do ramo alimentício após o período de metanização (cerca de 20 dias), conforme mostra a Tabela 3. A proporção dessa mistura deve ser entre 2:1 de resíduos de poda podendo ser de 3:1, caso o teor de umidade permaneça elevado. A proporção ideal ocorrerá quando houver uma mistura visivelmente suficiente para que o material orgânico a ser compostado esteja coberto com a fração de poda o tanto necessário para que além de diminuir a umidade dentro da mistura, o resíduo de poda também atue como inoculante. Por isso, o material deve ser bem misturado para que os microrganismos se espalhem na superfície dos alimentos, que também apresenta uma microbiota rica.

**Tabela 3** – Características da massa de resíduos utilizada na montagem da leira

Mistura da leira	Resíduos sólidos orgânicos após processo de metanização (ton)	Resíduo de poda processado grosso – 40mm ( Base da leira) (ton)	Resíduo de poda processado fino - 25mm (ton)
	10	10	20

Uma amostra de 240 litros dos resíduos sólidos orgânicos, como mostra a Figura 5, foi retirada para os ensaios de gravimetria, com separação das frações em diferentes componentes: matéria orgânica, recicláveis e outros. Dentro do componente matéria orgânica, foram identificados o alimento cozido, os legumes, as verduras, a carne, as frutas e o abacaxi. Esse último componente foi separado das frutas por ser um alimento de difícil degradação microbiana.

Para a recepção da mistura no solo, foi montada uma cama de 20 a 40 cm de altura com a fração maior (fração grossa) dos resíduos (Figura 18).



**Figura 18** – Base da leira formada com a fração maior dos resíduos de poda processados

O material misturado deve ser levado até a cama formada pela fração grossa dos resíduos de poda, sendo que esse material a ser compostado deve ser disposto seguindo em linha reta de forma centralizada, de ponta a ponta, deixando espaço entre o centro e a lateral, de forma que o material não fique espalhado permitindo assim que as bordas não exalem odor, ao mesmo tempo em que essa forma de disposição evita que o resíduo seja compactado evitando que os espaços aeróbios se tornem anaeróbios gerando gases e líquidos (Figura 19).



**Figura 19 – Aspecto final das etapas de montagem: A - Mistura de resíduos de alimentos e de resíduos de poda fino; B - Base da leira com os resíduos de poda de granulometria grossa**

Essa combinação de entrada e saída de ar, evaporação do líquido e absorção através do material seco permite que o processo seja conduzido de maneira a elevar a temperatura entre 50 a 70°C gerando a fase termofílica que irá degradar os restos de alimento e eliminar os microrganismos patogênicos. A Figura 20 ilustra o aspecto final da leira, construída, nesta primeira etapa, em área dotada de cobertura.



**Figura 20 – Aspecto final da leira**

#### **4.7 OPERAÇÃO E MONITORAMENTO DO SISTEMA DE COMPOSTAGEM IMPLEMENTADO.**

O objetivo desta etapa é realizar a operação contínua e o monitoramento do sistema de compostagem implementado, visando garantir a eficiência do processo em termos de controle de vetores e qualidade ambiental, viabilizando, assim, a recepção e o tratamento do volume de resíduos de forma continuada. As atividades desta etapa serão desenvolvidas pelas equipes da COMLURB, tendo como foco o atendimento aos requisitos de qualidade ambiental estabelecidos pela Resolução CONAMA 481/17, que define Critérios para Produção de Composto de Resíduos Sólidos Orgânicos, bem como a melhores práticas reconhecidas para operação destes sistemas, tais como:

- i) Controle diário da temperatura, visando a manutenção do processo termofílico ( $\leq 55$  °C) pelo período de tempo necessário para higienização dos resíduos (Figura 21);
- ii) Registro diário de volume, temperatura e práticas de manejo realizadas;
- iii) Inspeção visual dos principais componentes do sistema (estado dos drenos, condições das leiras, presença de aves ou vetores etc).



**Figura 21 – Controle diário da temperatura.**

#### **4.8 APRIMORAMENTO NO SISTEMA DE PENEIRAMENTO DA ETR CAJU**

Esta etapa visa a implantação das melhorias previstas para o sistema de peneiramento atualmente instalado na ETR Caju, e que se encontra atualmente com operação limitada. Prevê-se a realização de manutenção completa e reposição de peças, sensores e componentes de forma a torná-lo apto para operação em plena carga, capaz de processar o composto gerado no sistema de compostagem a ser implantado pelo presente projeto (100 t/dia). Espera-se que a inclusão desta etapa de beneficiamento final venha a otimizar a qualidade do composto a ser obtido, em relação a homogeneidade granulométrica e pureza, devido a remoção de materiais impróprios que eventualmente estejam presentes. Ressalta-se que serão utilizadas malhas com abertura adequada para o uso previsto para o composto, conforme estabelecido pela legislação vigente.

Cabe destacar, ainda, que o escoamento do composto seguirá sendo regido pelas condições que compõem o acordo estabelecido entre a Prefeitura, a COMLURB e a SUBMA que destina o composto produzido pela companhia de Limpeza Urbana à ações de revitalização e manutenção de áreas verdes urbanas. Com o maior controle de qualidade do material final, espera-se ampliar a gama de aplicação do produto pela Prefeitura e SUBMA, garantindo o escoamento do volume

adicional de composto produzido e demonstrando a viabilidade da integração da compostagem no sistema municipal de gestão urbana.

#### 4.9 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO COMPOSTO GERADO NO SISTEMA DE COMPOSTAGEM

O objetivo desta etapa é monitorar a qualidade do composto gerado no sistema de compostagem implementado no âmbito do projeto, a fim de garantir a sua adequação em relação aos requisitos estabelecidos pelo órgão regulador pertinente para composto orgânico e/ou condicionador de solo. Desta forma, espera-se garantir a qualidade do material e seu escoamento, bem como seu uso adequado conforme características físico-químicas auferidas. Espera-se, com o projeto, garantir o escoamento do composto gerado na ETR Caju, para ações executadas pela Prefeitura e SUBMA. Espera-se que a adoção de um sistema de tratamento, adequado do ponto de vista ambiental e de saúde pública, associado à qualidade do composto a ser gerado, deverá ser fator motivador para a SUBMA dar seguimento ao seu uso, possibilitando a sua destinação também à iniciativas de agricultura urbana, além de revitalização de áreas verdes. O produto final da compostagem deverá atender à legislação vigente, tendo como principais parâmetros:

- Valor máximo admitido de 1.000 Coliformes totais e *Escherichia coli* - número mais provável por grama de matéria seca (NMP/g de MS);
- Ausência de *Salmonella sp* em 10g de MS;
- Valor máximo de 0,5% na MS de vidros, plásticos, metais > 2mm;
- Valor máximo de 5% na MS de pedras > 5mm.

**Indicador(es):** Atendimento aos parâmetros determinados pela RESOLUÇÃO CONAMA 481, de 03 de outubro de 2017, que define Critérios para Produção de Composto de Resíduos Sólidos Orgânicos e pela INSTRUÇÃO NORMATIVA MAPA 27, de 05 de junho de 2006, modificada pela IN 7, de 12 de abril de 2016, que estabelece limites máximos de contaminantes para substratos, fertilizantes e condicionadores de solo.

Os procedimentos das análises físico-químicas tiveram por base as metodologias preconizadas pelo Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2014). Os seguintes parâmetros físico-químicos foram avaliados nas amostras: Inertes (%); Índice de pH; Umidade em base de matéria seca; Matéria Orgânica Total; Nitrogênio Total e Relação C/N.

A caracterização microbiológica será realizada na amostra inicial da mistura de resíduos sólidos (poda e alimento) através da espectrofotometria de massa e na amostra final de composto orgânico através da análise colimétrica (coliformes totais, enterococos e *Escherichia coli*) e

detecção da *Salmonella* e pesquisa de ovos de helmintos.

As colônias suspeitas foram identificadas, em triplicata, com base nos seguintes testes bioquímicos: oxidase, produção de ácidos a partir da glicose, lactose e sacarose, motilidade, produção de indol, de H<sub>2</sub>S e das enzimas fenilalanina desaminase, lisina descarboxilase, urease e utilização do citrato como única fonte de carbono.

A identificação das espécies bacterianas foi obtida a partir dos resultados fornecidos pelos testes bioquímicos de acordo com o Manual do Bergey para sistemática bacteriana (BRENNER et al., 2005). A confirmação da identificação foi realizada com o auxílio do programa para detecção das similaridades entre as espécies, oferecido pelo Sistema API.

A pesquisa de *Salmonella* teve por base a ISO 6579:2002. Consistiu no enriquecimento seletivo de 1 ml da amostra bruta em 10 ml de caldo tetratonato adicionado de solução aquosa de iodo e solução de verde brilhante a 0,1% e incubados a 35°C +/- 0,5 por 18 a 24 horas. Após incubação, um inóculo do caldo foi transferido para placas com os meios seletivos-indicadores ágar *Salmonella*-*Shigella* (ágar SS) e ágar xilose lisina desoxicolato (XLD), seguido de incubação a 35-37 °C por 24 horas. Colônias indicativas de *Salmonella* foram confirmadas através de testes de aglutinação em lâmina empregando-se soro polivalente "O" (Probac do Brasil Produtos Bacteriológicos Ltda.).

A Figura 22 ilustra uma das etapas da análise colimétrica da amostra e identificação de enterobactérias para estoque até a etapa de espectrofotometria de massa através do equipamento MALDI-TOF.



Figura 22 – Análise microbiológica e seleção de colônias para a espectrometria de massa (Maldi-Tof).

#### 4.10 IMPLEMENTAR AÇÕES ESTRATÉGICAS PARA VIABILIZAR E/OU OTIMIZAR O ESCOAMENTO E USO DO COMPOSTO ORGÂNICO GERADO NO ÂMBITO DO PROJETO

Além do direcionamento do composto para o fomento das atividades de reflorestamento e hortas comunitárias desenvolvidas por órgãos da prefeitura, desenvolver estudos para mapear setores agrícolas enquanto potenciais interessados na utilização do produto final do projeto.

### 5. RESULTADOS

#### 5.1. GRAVIMETRIA E MONTAGEM DA LEIRA

Os resultados da análise gravimétrica mostram que 71,05% dos Resíduos Sólidos Orgânicos (RSO) corresponderam à fração orgânica (Figura 23). Dentre os recicláveis (14,02%), destaca-se o plástico (5,19%), representado pelas sacolas (plástico filme).

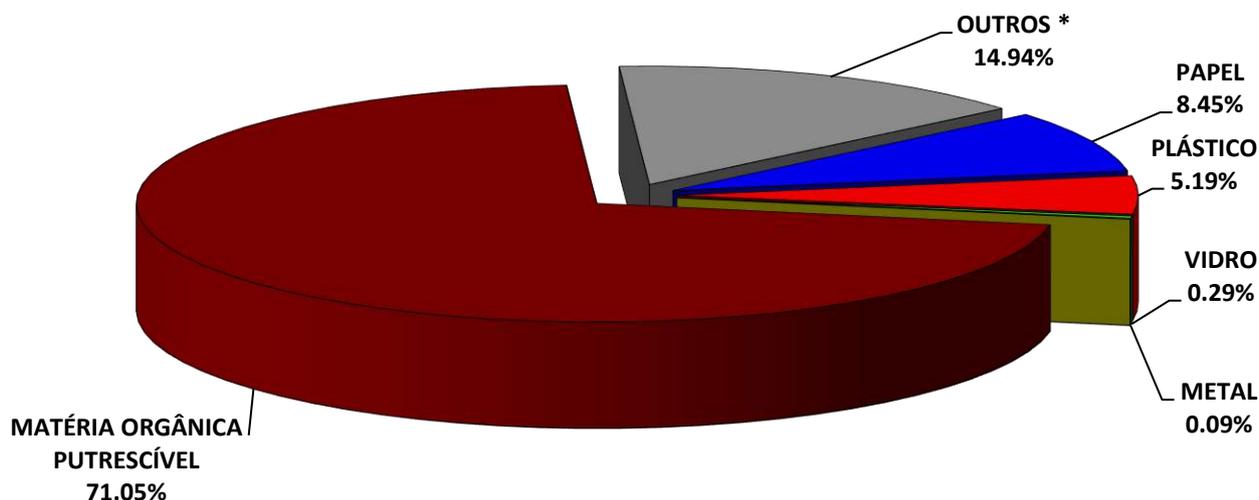


Figura 23 – Caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos orgânicos de grandes geradores

A composição física dos RSO mostra que o maior percentual detectado correspondeu às frutas (30,98%) seguido do componente legumes (27,76%). O material descartado se apresentava em unidades inteiras ou folhas de vegetais diversos, com alto teor de líquidos, como melões, melancias, pepinos, abacaxi e tomates (Figura 24).

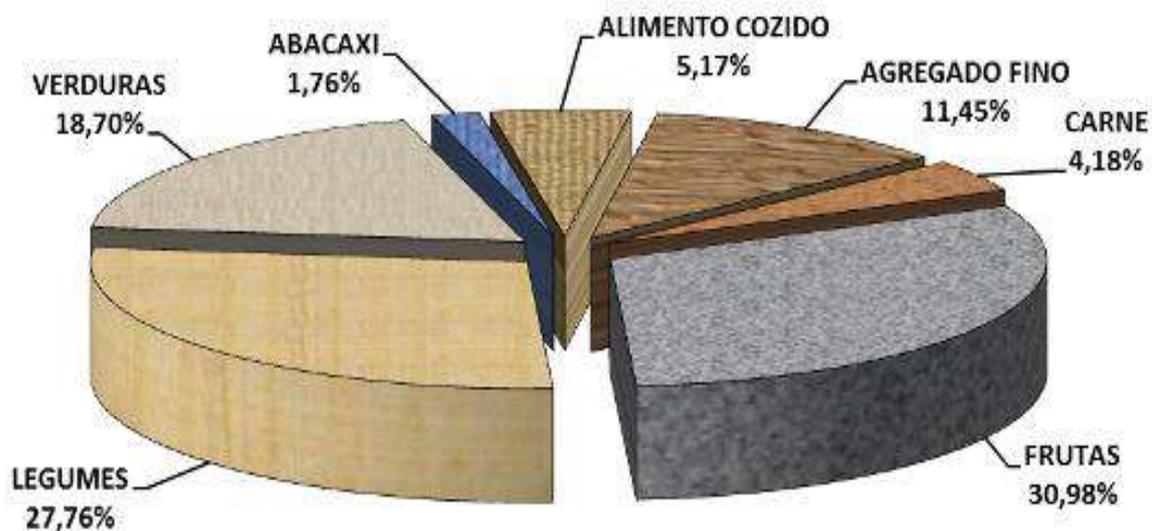


Figura 24 – Caracterização gravimétrica da fração orgânica dos resíduos sólidos de grandes geradores.

A Figura 25 mostra os componentes identificados na fração “Outros” (14,94%), com destaque para o osso, presente no alimento cozido, as folhas e flores, provavelmente oriundas do grande gerador CADEG e a madeira, proveniente de restos de caixotes.

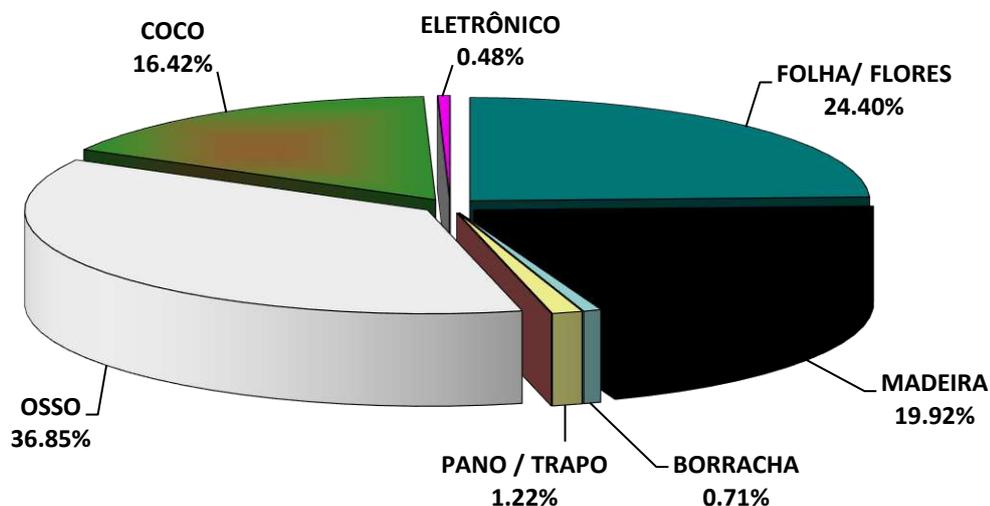


Figura 25 – Caracterização gravimétrica do componente “outros” dos resíduos sólidos de grandes geradores

O percentual de umidade dos resíduos de poda fino foi de 35 % e o pH 6.0. O material de entrada na leira, ou seja, a mistura de resíduos de poda fina e os resíduos sólidos orgânicos apresentou 60% de umidade e pH igual a 6.0.

Quanto ao perfil microbiano dado pela espectrometria de massa das colônias bacterianas obtidas a partir da análise da mistura, a Tabela 4 demonstra as espécies bacterianas identificadas no equipamento.

**Tabela 4** – Relatório emitido pelo espectrofotômetro (malдитoff) mostrando as similaridades com as espécies bacterianas (em verde)

A1 (++) (C)	06VJ	<i>Escherichia coli</i>	3.043	<i>Escherichia coli</i>	1.967
A5 (++) (A)	07M EMB	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	3.034	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	1.941
A6 (++) (C)	07M EMB	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	2.296	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	2.228
A9 (-) (C)	04M	not reliable identification	1.830	not reliable identification	1.781
A10 (+) (B)	04M	<i>Bacillus pumilus</i>	1.827	not reliable identification	1.297
A11 (-) (C)	03M	not reliable identification	1.31	not reliable identification	1.409
A12 (-) (C)	03M	not reliable identification	1.223	not reliable identification	1.12
B1 (++) (A)	01 EMB	<i>Candida krusei</i>	2.096	<i>Candida krusei</i>	1.953
B2 (++) (A)	02 EMB	<i>Candida krusei</i>	2.188	<i>Candida krusei</i>	2.043
B3 (++) (A)	01 EMB	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	2.176	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	2.122
B4 (+++)(A)	01 EMB	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	2.067	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	2.084
B5 (-) (C)	08 TSA	not reliable identification	1.481	not reliable identification	1.207
B6 (-) (C)	08 TSA	not reliable identification	1.179	not reliable identification	1.188

As principais espécies identificadas na mistura de entrada da leira foram enterobactérias, como *Escherichia coli* e *Klebsiella pneumoniae*, bactérias esporuladas, como *Bacillus pumilus* e leveduras, como *Candida krusei*.

Quanto aos parâmetros físico-químicos ao longo do período de confinamento, as temperaturas aferidas conferem com o processo de degradação microbiana. A umidade permaneceu elevada, mas houve uma diminuição após 31 dias de compostagem, favorecendo a sucessão microbiana.

Não foi observada formação de líquidos lixiviados e não houve a percepção sensorial de maus odores emanados da leira.

## 5.2. . QUALIDADE DO COMPOSTO

A Figura 26 mostra o aspecto do composto após 55 dias de compostagem, processado em peneira de 9mm.



**Figura 26 – Aspecto final do produto gerado após 55 dias de compostagem em leira de aeração passiva processado em peneira de 9mm**

Na Tabela 5 está detalhada a análise granulométrica do produto final com tempo de maturação de 20 dias na metanização e 15 dias na compostagem. A granulometria ou textura do composto varia com a compostagem. As dimensões iniciais das partículas são reduzidas pelo processo de decomposição e é favorecido pelo revolvimento das leiras. Nesse caso, por ser um processo de compostagem estática (sem reviramento), a granulometria será alterada apenas com a decomposição.

Na amostra coletada, cerca de 45% (Tabela 5 – retângulo vermelho) do material apresentou granulometria elevada (acima de 12,70 mm), indicador de compostagem com maturação incompleta, com baixa uniformidade de aplicação no solo (MAPA, 2016).

**Tabela 5** – Perfil granulométrico do composto gerado com tempo de maturação de 20 dias na metanização e 15 dias na compostagem.

<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>MASSA (g)</b>	<b>(%)</b>
1 1/2 - (38,10 mm)	27,67	9,84%
1 - (25,4 mm)	46,51	16,53%
3/4 - (19,10 mm)	43,23	15,37%
1/2 - (12,70 mm)	12,70	4,51%
3/8 - (9,52 mm)	32,40	11,52%
4 - (4,58 mm)	75,67	26,90%
8 - (2,38 mm)	3,57	1,27%
Fundo	39,57	14,07%
<b>Total</b>	<b>281,32</b>	<b>100,00%</b>

→ > 45%

Quanto aos parâmetros físicos, o percentual de inertes está em conformidade com a IN 27/06, como pode ser observado na Tabela 6.

**Tabela 6** – Caracterização gravimétrica do composto gerado após 55 dias de confinamento

<b>COMPONENTES</b>	<b>MASSA (g)</b>	<b>(%)</b>	<b>IN 27/06 (%)</b>
Vidro >2mm	0	0,0	0,5
Metal >2mm	0	0,0	0,5
Pedra / louça >5mm	3,36	0,99	5,0
Plástico filme >2mm	1,02	0,3	0,5
Plástico duro >2mm	0	0,0	0,5
Matéria orgânica	0	0,0	-
Madeira	0	0,0	-
Papel e papelão	0	0,0	-
Tecido	0	0,0	-
Borracha	0	0,0	-
Couro	0	0,0	-
Agregado fino	0	0,0	-
Outros	0	0,0	-
Massa compostável	334,01	98,70	
<b>TOTAL</b>	<b>338,39</b>	<b>100</b>	

Na Tabela 7, verificam-se os parâmetros físico-químicos no produto final após a metanização e a compostagem. Pode-se observar que a Relação C/N é 24,7, conferindo uma condição inadequada para ser utilizado como condicionador de solos, de acordo com o art. 6º da Resolução CONAMA 481, no qual versa que o processo de compostagem deve garantir uma relação carbono/nitrogênio no composto final menor ou igual a 20:1.

O percentual de inertes verificado no composto foi de 3,17. De acordo com Silva et al., 2002, o percentual total abaixo de 7% de inertes é considerado como uma característica de boa qualidade do composto orgânico.

**Tabela 7** – Resultados dos ensaios físico-químicos do produto gerado após a metanização e a compostagem.

PARÂMETRO	RESULTADO	IN 27	CONAMA 481
pH	6.59	-	-
Inertes Total (%)	3,17	5,5	-
Massa Específica (g/L)	209,2	-	-
Matéria Orgânica Total (%)	42	-	-
Nitrogênio Total (%)	1,7	-	-
Relação C/N	24,7	-	20

A Tabela 8 mostra detecção dos indicadores microbianos no produto final. Como parâmetro de coliformes termotolerantes, foi realizada a detecção de *E. coli*, que se equivale à exigência da legislação, uma vez que este microrganismo é considerado indicativo de contaminação fecal. Os ensaios mostraram que o composto se apresenta em conformidade com a legislação.

**Tabela 8** – Perfil microbiano do composto formado após metanização e compostagem.

Parâmetro	Resultado	IN 27
Coliformes Totais (NMP/g MS)	1,4 X 10 <sup>3</sup>	-
<i>Escherichia coli</i> (NMP/g MS)	1,4 X 10 <sup>2</sup>	-
Coliformes termotolerantes - número mais provável por grama de matéria seca (NMP/g de MS)*	-	1,0 X 10 <sup>3</sup>
<i>Salmonella sp</i>	Ausente	Ausente
Ovos viáveis de helmintos - número por quatro gramas de sólidos totais (nº em 4g ST)	Ausente	1,0

NMP/g de MS – Número Mais Provável por grama de matéria seca

\* Os valores de referência para coliformes termotolerantes se equivalem aos valores para *E. coli* por ser este um valor mais restritivo

Entende-se como resultados ambientais das ações propostas neste trabalho:

- Reflorestamento e recuperação de encostas (Figura 27);
- Hortas comunitárias (Figura 28);
- A redução dos resíduos enviados para aterros.

Além disso, os ganhos ambientais decorrentes da melhoria na gestão dos resíduos sólidos urbanos na cidade do Rio de Janeiro demonstram um caminho correto para que seja cumprido o que está estabelecido no Lei nº 12.305 , Art. 36,Inc. V; conforme segue:

No âmbito da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, cabe ao titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, observado, se houver, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos: implantar sistema de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articular com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido.



**Figura 27 – Utilização do composto n recuperação de áreas degradadas.**



Figura 28 – Contato com agricultores familiares de Magé para distribuição do composto.

## 6. CONCLUSÃO

- O produto gerado após a metanização e a compostagem em leiras apresentou parâmetros microbiológicos de qualidade em acordo com os especificados pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (*E. coli* - NMP/g), bem como a relação C/N, que atingiu a recomendada pela Resolução CONAMA 481 para uso como composto orgânico condicionador de solo.
- A compostagem da FORSU é uma alternativa promissora de gestão, concorrendo para a minimização de problemas sociais e econômicos, além da necessária recondução da matéria orgânica para o meio ambiente

## 7. RECOMENDAÇÕES

A expertise desenvolvida pelos técnicos da empresa, aliada à necessidade de dar à FORSU uma destinação final ambientalmente adequada, permite afirmar que a compostagem é uma alternativa viável para contribuir na solução de dois dos maiores problemas relacionado à destinação final do RSU: a emissão de gases de efeito estufa e a geração de lixiviados.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004. Resíduos sólidos – Classificação. 2004.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Públicas e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017. 2018.

ALVAREZ, R., VILLICA, R., LIDEN, G. Biogas production from llama and cow manure at high altitude. *Biomass Bioenergy*, v. 30, p. 66-75, 2006.

ANDERSEN, J.K.; BOLDRIN, A.; CHRISTENSEN, T.H.; SCHEUTZ, C. Mass balances and life cycle inventory of home composting of organic waste. *Waste Management*, v. 31, n. 9-10, p. 1934–1942, 2011.

ASTM International, 2003. Standard Test Method for Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste. In: ASTM 5231-92. American Society for Testing and Materials, US.

BARR, S.; GUILBERT, S.; METCALFE, A.; RILEY, M.; ROBINSON, G. M.; TUDOR, T. L. Beyond recycling: An integrated approach for understanding municipal waste management. *Applied Geography*, v. 39, p. 67-77, 2013.

BEYLOT, A.; VILLENEUVE, J.; BELLENFANT, G. Life Cycle Assessment of landfill biogas management: Sensitivity to diffuse and combustion air emissions. *Waste Management*, v. 33, n. 2, p. 401–411, 2013.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 481, de 03 de outubro de 2017. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 04 out. 2017. Seção 1, p. 51.

BRASIL. Decreto nº. 4.954, de 14 de Janeiro de 2004. *Diário Oficial da União*, Poder Executivo, Brasília, DF, 15 de jan. 2004. Seção 1, p. 2.

BRASIL. Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 jul. 2009. Seção 1, p. 20.

BRASIL. Instrução Normativa SDA nº 27, de 05 de junho de 2006. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 jun. 2006.

BRASIL. Instrução Normativa SDA nº 53, de 05 de outubro de 2013. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 jun. 2006.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Legislativo, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Seção 2, p. 2.

BRASIL. Lei nº 6.894, de 16 de Dezembro de 1980. Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, e dá outras providências. ([Redação dada pela Lei nº 12890, de 2013](#)). Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/1980-1988/L6894.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/1980-1988/L6894.htm)>. Acesso em: Nov. 2018.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de Fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em:<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L8171.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8171.htm)>. Acesso em: Nov. 2018.

BRASIL. Lei nº 5.610, de 16 de Fevereiro de 2016. Dispõe sobre a responsabilidade dos grandes geradores de resíduos sólidos e dá outras providências. Distrito Feral, 2016.

BRASIL. Lei nº. 11.445 de 5 de Janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em:<<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2007/lei-11445-5-janeiro-2007-549031-normaatualizada-pl.pdf>>. Acesso em: Nov. 2018.

BRENNER, D. J.; KRIEG, N. R.; GARRITY, G. M.; STALEY, J. T.; BOONE, D. R.; VOS P.; GOODFELLOW, M.; RAINEY, F. A.; SCHLEIFER, K. H. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology., 2nd ed., 401p, 2005.

CHERNICHARO, C.A.L. Reatores Anaeróbios. Belo Horizonte: DESA-UFMG. 1997. 245 p.

CHEN, L. F.; CHOPRA, T; KAYE, K. S. Pathogens Resistant to Antibacterial Agents. Infect. Dis. Clin. N. Am., v. 23, p.817–845, 2009.

CONVERTI, A.; DEL BORGHI, A.; ZILLI, M.; ARNI, S.; DEL BORGHI, M. Anaerobic digestion of the vegetables fraction of municipal refuses: mesophilic versus thermophilic conditions. Bioprocess Eng. v. 21, p. 371-376, 1999.

- COSTA, B.S.; RIBEIRO, J.C.J. Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos: direitos e deveres. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2013.
- DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction. 2. ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2008, 443 p.
- EL-FADEL, M.; FINFIKAKIS, A.N.; LECKIE, J.O. Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling. *Journal of Environmental Management*, v. 50, n. 1, p. 01–25, 1997.
- ERSES, A.S.; FAZAL, M.A., ONAYA, T.T., CRAIG, W.H. Determination of solid waste sorption capacity for selected heavy metals in landfills. *J Hazard Mater*, p. 223–32, 2005.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Global food losses and food waste - extent, causes and prevention. Rome, 2011.
- FOROUHAR, A.; HRISTOVSKI, K. D. Characterization of the municipal solid waste stream in Kabul, Afghanistan. *Habitat International*, v.36, p.406-413, 2012.
- FIALHO, L.L. Caracterização da matéria orgânica em processo de compostagem por métodos convencionais e espectroscópicos. 2007. 170 p. Tese (Doutorado em Ciências – Química Analítica) – Universidade de São Paulo, São Carlos. 2007.
- FIORILLO, C.A.P. Curso de Direito Ambiental brasileiro. São Paulo: Saraiva, 2011.
- GALANTE, C.G.; PEZZOLA, L.; PRIANO, N.; SCARAMELLINI, S.; STTOCORNOLA, A. Methane from biogas: the process, cleaning and projects. Trondheim: Norewegian University of Science and Technology, 2012, 52 p.
- GIUSTI, A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste Management*, v.29, p.2227–2239, 2009.
- GÓMEZ, M. A., BALDINI, M., MARCOS, M., MARTINEZ, A., FERNÁNDEZ, S., REYES, S. Aerobic microbial activity and solid waste biodegradation in a landfill located in a semi-arid region of Argentina. *Ann Microbiol.*, v. 62, p. 745–752, 2012.
- GOUVEIA, N.; PRADO, R.R. Health risks in areas close to urban solid waste landfill sites. *Revista de Saúde Pública*, v. 44, n. 5, p. 859-866, 2010.

GOYAL, S.; DHULL, S.K.; KAPOOR, K.K. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresource Technology*, v. 96, n. 14, p. 1584–1591, 2005.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa de Informações Básicas Municipais: Perfil dos municípios brasileiros 2017. Rio de Janeiro, RJ, 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/saude/10586-pesquisa-de-informacoes-basicas-municipais.html?=&t=downloads>>. Acesso em: Out. 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em:< <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv45351.pdf>>. Acesso em: Out. 2018.

INSAM, H.; de BERTOLI, M. Microbiology of the composting process. *Waste Management Series*, v. 8, p. 25–48, 2007.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica aplicada. Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas. Brasília, 2012.

KIEHL, E. J. 500 perguntas e respostas. 1. ed . Piracicaba. Agronômica Ceres Ltda, 2008, 227 p.

KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: Agronômica Ceres Ltda, 1985. 492 p.

KIEHL, E.J. Manual da Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto. 4. ed. Piracicaba. 2004. 173 p.

MASSUKADO, L.M. Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares. 2008. 204 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

MEHTA, C.M.; PALNI, U.; FRANKE-WHITTLE, I.H.; SHARMA, A.K. Compost: its role, mechanism and impact on reducing soil-borne plant diseases. *Waste Management*, v. 34, n. 3, p. 607–622, 2014.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos: manual de orientação. Brasília, 2017.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/informma/item/5619-minc-participa-da-inauguracao-de-aterro-sanitario-em-teresopolis-rj>>. Acesso em: Dez. 2017.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Resíduos Orgânicos e Legislações. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/gest%C3%A3o-de-res%C3%ADuos-org%C3%A2nicos#legislacao>>. Acesso em: Dez., 2017.

MONTEIRO, J.H.P. et al. Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos / José Henrique Penido Monteiro ...[et al.]; coordenação técnica Victor Zular Zveibil. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

NAGARAJAN, G.; RAJAKUMAR, S.; AYYASAMY, P.M. Vegetable wastes: An alternative resource for biogas and bio compost production through lab scale process. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci, v. 3, n. 10, p. 379-387, 2014.

NARAYANA, T. Municipal solid waste management in India: From waste disposal to recovery of resources?. Waste management, v. 29, n. 3, p. 1163-1166, 2009.

NASCIMENTO, K.O.; AUGUSTA, I.M.; RODRIGUES, N.R.; PIRES, T.; BATISTA, E.; BARBOSA JÚNIOR, L.J.; BARBOSA, M.I.M.J. Alimentos minimamente processados: uma tendência de mercado. Acta Tecnológica, Vol. 9, n. 1, p. 48-61, 2014.

OTHMAN, S. N.; NOOR, Z. Z.; ABBA, A. H.; YUSUF, R. O.; HASSAN, M. A. A. Review on life cycle assessment of integrated solid waste management in some Asian countries. J. Cleaner Production 41, 251 – 262, 2013.

PMGIRS - Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos sólidos do Rio de Janeiro 2016. Disponível em: <[http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/3035089/DLFE-247507.pdf/Plano\\_Gestao\\_Integrada\\_Residuos.pdf](http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/3035089/DLFE-247507.pdf/Plano_Gestao_Integrada_Residuos.pdf)>. Acesso em: Dez. 2018.

PNRS - Plano Nacional de Resíduos Sólidos. 2011. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/253/\\_publicacao/253\\_publicacao02022012041757.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf)>. Acesso em: Ago. 2018.

PORTELLA, M.O.; RIBEIRO, J.C.J. Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos. Revista Direito Ambiental e Sociedade, v. 4, n. 1, p. 115 – 134, 2014.

PORTELLA, M.O.; RIBEIRO, J.C.J. Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos. Revista Direito Ambiental e Sociedade, v. 4, n. 1, p. 115 – 134, 2014.

RENOU, S.; GIVAUDAN, J.G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F.; MAULIN, P. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. [Journal of Hazardous Materials](#). v. 150, n. 3, p. 468-493, 2008.

SCHALCH,V.; LEITE, W.C.A.; JÚNIOR FERNANDES, J.L.; CASTRO, M.C.A.A. Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos. São Carlos, 2002.

SEABRA, L.H.; GALLEP, R.; GONÇALVES, D.B. Alternativas para Coleta e Disposição Final de Resíduos Sólidos em Municípios de Pequeno e Médio Porte. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, Três Corações, v. 14, n. 2, p. 614-626, 2016.

SILVA, L. R. de M.; de MATOS, E. T. A. R.; FISCILETTI, R. M. de S. Resíduos Sólidos Ontem e Hoje: Evolução Histórica dos Resíduos Sólidos na Legislação Ambiental Brasileira. AREL FAAR, Ariquemes, RO, v. 5, n. 2, p. 126–142. 2017.

SILVA, S.R.P.; VERDIN, S.E.F.; PEREIRA, D.C.; SCHATKOSKI, A.M.; ROTT, M.B.; CORÇÃO, G. Microbiological quality of minimally processed vegetables sold in Porto Alegre, Brazil. Brazilian Journal of Microbiology. Brazilian Journal of Microbiology, v. 38, n. 4, p. 594-598, 2007.

SUNDBERG, C. Improving compost process efficiency by controlling aeration, temperature and pH. v. 2005, n. 103, 2005.

TEIXEIRA, L.B.; GERMANO, V.L.C.; OLIVEIRA, R.F. de; FURLAN JÚNIOR, J. Processo de compostagem, a partir de lixo orgânico urbano, em leira estática com ventilação natural. Circular Técnica, 33. Belém: Embrapa, 2004.

VERGARA, S. E., TCHOBANOGLOUS, G. Municipal Solid Waste and the Environment: A Global Perspective. Annu. Rev. Environ. Resour., v. 37, p. 277–309, 2012.

WESTERMAN, P.W.; BICUDO, J.R. Management considerations for organic waste use in agriculture. Bioresour Technol. v. 96; p. 215–221, 2005.

WICHUK, K.M.; MCCARTNEY, D. A review of the effectiveness of current time–temperature regulations on pathogen inactivation during composting. Journal of Environmental Engineering and Science, v. 6, n. 5, p. 573–586, 2007.