

Caderno temático

4

Valorização de Resíduos
Orgânicos



PLANSAB

4

Valorização de resíduos orgânicos

Autores

Cássio Araujo de Oliveira Rodrigues (MMA)
Caroline Alvarenga Pertussatti (MMA)
Christiane Dias Pereira (TU Braunschweig)
Eduardo Costa Carvalho (MMA)
Geraldo Antônio Reichert (DMLU-POA)
Hélinah Cardoso Moreira (GIZ/ProteGEEr)
Lúcio Costa Proença (MMA)
Luis Felipe Dornfeld Colturato (Methanum)
Marcelo Chaves Moreira (MMA)
Maria Ottilia Bertazi Viana (MDR)
Mariana Silva (GIZ/ProteGEEr)
Paula Wernecke Padovani (MMA)
Thainah Pereira de Freitas (MMA)

Revisão

Ana Terra Meija Munhoz
Cássio Araujo de Oliveira Rodrigues
Christiane Dias Pereira
Hélinah Cardoso Moreira
Mariana Silva
Rebeca Borges de Oliveira
Rosana Freitas Araújo

Introdução

O presente volume integra o conjunto de cadernos temáticos que compõem o material complementar à revisão do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), sob a coordenação do Ministério das Cidades.

Elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente, por meio da equipe técnica da Coordenação de Resíduos Sólidos, do Departamento de Qualidade Ambiental e Gestão de Resíduos da Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, em apoio técnico ao Ministério das Cidades, Departamento de Planejamento e Regulação (DLPAR), e contando com a colaboração da agência de cooperação alemã GIZ, este caderno temático traz à luz a importância e a necessidade de valorizar a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, sejam eles provenientes da atividade de limpeza pública urbana, de resíduos domésticos ou originários de atividades comerciais, industriais e de serviços, em quantidade e qualidade similares às dos resíduos domésticos.

A valorização dos resíduos orgânicos atende à observância da ordem hierárquica na gestão e no gerenciamento dos resíduos sólidos, conforme estabelece o artigo 9º da Lei nº 12.305/2010 ao dar prioridade às etapas de reciclagem e tratamento, que antecedem a disposição final desta fração dos resíduos em aterros sanitários.

Ao desviar os resíduos orgânicos até então enviados para aterros sanitários e lixões, a reciclagem e o tratamento por meio de compostagem e biodigestão anaeróbia geram composto orgânico como subproduto. Esse subproduto pode ser usado como fertilizante em atividades de jardinagem (composto orgânico para áreas verdes), na recuperação de áreas degradadas

(recobrimento de taludes e encostas), na agricultura urbana e periurbana (produção de alimentos pela agricultura familiar, por exemplo) e na geração de biogás, no caso da biodigestão anaeróbia, destinado à geração de calor, energia ou combustível.

O fortalecimento das etapas hierárquicas na gestão dos resíduos sólidos, bem como o desvio de resíduos orgânicos de aterros sanitários e lixões, reduz as pressões dos resíduos sólidos sobre o meio ambiente em termos de contaminação do solo e dos corpos d'água e de poluição do ar, ao evitar a geração de chorume e as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Por isso, é fundamental para a redução dos impactos negativos sobre a saúde pública.

À luz desta perspectiva, este caderno apresenta dados acerca dos resíduos orgânicos gerados no país, abordando questões conceituais em torno de aspectos da segregação na origem e de escalas e métodos de reciclagem da matéria orgânica, como a compostagem, a biodigestão anaeróbia e o manejo de podas e galhadas. Em seguida, aborda questões relativas ao arcabouço legal e normativo voltado a esta fração dos resíduos sólidos urbanos, apresentando algumas experiências brasileiras inovadoras, ações do governo federal de valorização dos resíduos orgânicos, experiências internacionais na gestão de resíduos orgânicos, bem como a interface entre resíduos orgânicos e clima. Diante disso, apresenta proposta de ação e estratégias para a melhoria da gestão dos resíduos orgânicos e discorre sobre metas e monitoramento.

Definições

Para os fins deste caderno, consideram-se as seguintes definições:

Biodigestão anaeróbia: processo de decomposição biológica controlada da matéria orgânica na ausência de oxigênio (condições anaeróbias), efetuada por um consórcio microbiano. Como subprodutos, tem-se composto orgânico e biogás, composto principalmente por metano (CH₄) e o dióxido carbônico (CO₂). Também pode ser denominado como metanização.

Coleta indiferenciada: sistema de coleta de resíduos mistos.

Coleta seletiva: sistema de coleta de resíduos sólidos previamente segregados, conforme sua constituição ou composição, implantado pelo titular do serviço público de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. Fica entendido, neste caderno, que se trata do sistema no qual os resíduos devem ser separados, no mínimo, nas frações: secos recicláveis, orgânicos e rejeitos.

Compostagem: processo de decomposição biológica controlada dos resíduos orgânicos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições aeróbias e termofílicas, resultando em material estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes daquelas que lhes deram origem.

Reciclagem: processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos. A compostagem e a biodigestão anaeróbia são formas de reciclagem dos resíduos orgânicos.

Rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentam outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada em aterros sanitários.

Resíduos mistos: resíduos orgânicos misturados com resíduos recicláveis secos e rejeitos.

Resíduos orgânicos: aqueles representados pela fração orgânica dos resíduos sólidos, passíveis de compostagem ou biodigestão anaeróbia, sejam eles de origem urbana, alimentar, industrial, agrossilvipastoril ou outra.

Resíduos recicláveis secos: aqueles representados pela fração seca dos resíduos, passíveis de reciclagem, como papel, plástico, metal e vidro.

Segregação de resíduos na origem: processo de separação dos resíduos (como os orgânicos, recicláveis secos e rejeitos) visando ao descarte, sem misturá-los em nenhuma etapa. Assim, os resíduos segregados na origem são aqueles que, do momento da geração até a destinação, não foram misturados com outro tipo de resíduo.

Vermicompostagem ou tratamento em minhocários: decomposição da matéria orgânica por meio do processo digestivo das minhocas. Este processo geralmente é feito em local fechado (para não ocorrer fuga das minhocas) e coberto (excesso de umidade é prejudicial às minhocas), por exemplo, em caixas de plástico.

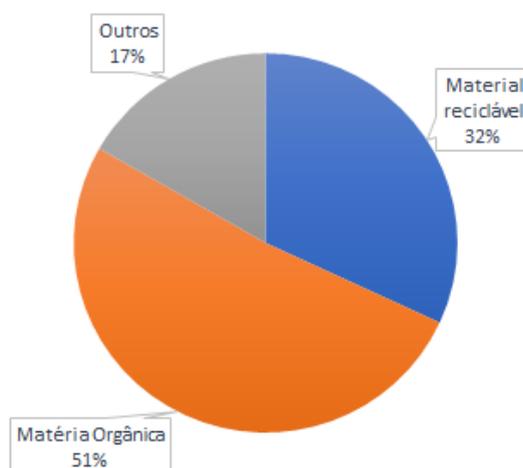
1. Valorização dos resíduos orgânicos

Os resíduos orgânicos são constituídos basicamente por restos de animais ou vegetais descartados de atividades humanas. Podem ter diversas origens, por exemplo, domiciliar ou urbana (restos de alimentos, de jardinagem, podas etc.), agrícola ou industrial (resíduos de agroindústria alimentícia, indústria madeireira, frigoríficos etc.) e de saneamento básico (lodo de estações de tratamento de esgoto).

Em ambientes naturais, esses materiais se degradam espontaneamente e reciclam os nutrientes presentes em processos como os ciclos da água, do carbono e do nitrogênio. Entretanto, quando derivados de atividades humanas, especialmente em ambientes urbanos, podem constituir um sério problema ambiental pela velocidade e volume em que são gerados e pelos locais inadequados em que são armazenados ou dispostos.

A disposição de resíduos orgânicos, seja em lixões, seja em aterros controlados ou sanitários, gera chorume (líquido de cor escura e elevada carga orgânica), que pode contaminar o solo e as águas subterrâneas, emite biogás com importante conteúdo de gás metano (importante contribuinte antrópico de emissões de GEE), ocasiona maus odores e favorece a proliferação de vetores de doenças. Contudo, os dispostos em aterros sanitários passam por um processo paliativo de captação e tratamento do chorume gerado e drenagem do biogás, sistemas inexistentes nos lixões e em muitos aterros controlados.

Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2012), os resíduos orgânicos correspondiam, em 2012, a cerca da metade da massa total coletada de resíduos sólidos urbanos no Brasil, podendo esse percentual variar em função do porte municipal e de suas características culturais e econômicas (Figura 1).



Fonte: Versão preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2012).

Figura 1. Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008.

Considerando esta informação e os dados de resíduos sólidos urbanos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2016), estima-se que a massa de resíduos orgânicos coletada nas cidades (domésticos e de limpeza pública) correspondia, em 2016, a 30,35 milhões de toneladas por ano (Tabela 1), dispostos, em sua maioria, em aterros sanitários ou lixões.

Tabela 1. Estimativa da massa coletada de resíduos sólidos urbanos no país.

Ano	População urbana (habitantes)	Indicador médio (kg.hab ⁻¹ .d ⁻¹)	Estimativa da massa de resíduos sólidos urbanos coletada (milhões de t.ano ⁻¹)	Estimativa da massa de resíduos orgânicos coletada (milhões de t.ano ⁻¹) ⁽¹⁾
2016	174.208.995	0,94	59,50 ⁽²⁾	30,35
2015	172.776.703	1,00	62,50	31,88
2014	171.302.550	1,05	64,40	32,84

⁽¹⁾Valor estimado a partir da composição média de resíduo orgânico (51%) dado na Figura 1.

⁽²⁾Adotou-se o indicador médio (igual a 0,94 kg.hab⁻¹.d⁻¹) e a população urbana. Desta forma, o montante de 59,5 milhões de toneladas no ano é 1% maior do que estimado segundo as estratificações populacionais propostas pelo SNIS-RS 2016.

Fonte: adaptada do SNIS-RS (2016).

Com isso, faz-se necessária a adoção de métodos adequados de gestão e tratamento destes grandes volumes de resíduos, para que a matéria orgânica presente seja estabilizada e possa cumprir seu papel natural de ser reincorporada aos solos de forma segura, voltando ao ciclo natural da matéria. Esta reincorporação da matéria orgânica nos solos tem diversos benefícios e funções ambientais que se perdem quando os resíduos orgânicos são destinados para locais de disposição final. Alguns destes benefícios são:

- enriquecimento dos solos com micro e macronutrientes essenciais para o crescimento de plantas, tais como nitrogênio, fósforo, potássio, ferro, cobre e molibdênio;
- reciclagem de nutrientes (geração de nutriente renovável);

- aumento da quantidade de matéria orgânica no solo, enriquecendo e sustentando sua microvida, que é essencial para a manutenção da fertilidade em ambientes tropicais. Gera-se, assim, o *topsoil*, ou camada superficial do solo;
- maior quantidade de carbono nos solos, formando estoques desse elemento e favorecendo processos de sequestro de carbono da atmosfera pela atividade microbiana. Estas funções de estoque e sequestro de carbono são essenciais nos esforços globais relativos à mitigação das mudanças do clima;
- aumento da capacidade de armazenamento de água no solo. Esta característica ocasiona menores cheias nos cursos d'água durante episódios de chuvas intensas e vazões maiores, por mais tempo, em períodos de estiagem prolongadas, aumentando a resiliência dos ecossistemas e diminuindo processos de lixiviação do solo e de nutrientes;
- melhoria da estrutura dos solos por meio de sua estabilização. Aliada ao aumento da capacidade de armazenamento de água, essa melhoria tem efeito sobre o controle da erosão e dos processos de desertificação.

Apesar destes benefícios, atualmente a maior parte dos resíduos orgânicos gerados nas cidades brasileiras está sendo disposta em aterros sanitários e lixões, e apenas 0,3% da massa total dos resíduos sólidos urbanos acaba sendo valorizada em unidades de compostagem (SNIS, 2016). A valorização destes resíduos consiste na adoção de tratamentos que emulem os processos naturais de decomposição dos resíduos orgânicos de forma controlada a fim de promover a reciclagem destes resíduos de forma segura para a saúde humana e o meio ambiente. O resultado é um material de uso seguro no solo e, caso utilizada a tecnologia de biodigestão anaeróbia, um combustível renovável.

Pelo fato de a degradação de resíduos orgânicos ser um processo natural, a reciclagem deste tipo de resíduo pode ser feita em qualquer escala (da doméstica à industrial) e de diversas formas, das mais baratas e tecnologicamente simples às mais caras e complexas. Para promover a reincorporação no solo das grandes quantidades de composto proveniente do tratamento dos resíduos orgânicos gerados nas cidades brasileiras, bem como produzir combustível, faz-se necessário entender as características, vantagens e desvantagens de cada forma de reciclagem de resíduos orgânicos e entender os contextos em que cada opção é mais indicada.

1.1. Segregação na origem

A segregação na origem, também conhecida como segregação ou separação na fonte, é realizada pelo próprio gerador do resíduo no local onde o mesmo foi gerado, para, em seguida, mediante seu adequado acondicionamento, disponibilizá-lo para coleta pelo prestador desse serviço no município ou entregar em pontos específicos. Com isso, o gerador separa a fração orgânica dos resíduos da fração reciclável seca e dos resíduos não passíveis de reciclagem, chamados de rejeitos. A segregação dos resíduos na fonte geradora, no mínimo, nestas três frações é o primeiro passo para a destinação adequada dos mesmos visando à maximização do reaproveitamento e da reciclagem.

A coleta desses resíduos segregados é seletiva quando o prestador do serviço os coleta de forma diferenciada; caso contrário, tem-se uma coleta indiferenciada. A coleta seletiva favorece a manutenção da qualidade do resíduo para o tratamento ou a reciclagem. No caso dos resíduos orgânicos, sua segregação prévia dos demais resíduos permite a geração de um composto de

melhor qualidade para uso no solo e na agricultura, pois evita sua contaminação por metais pesados, elementos ou compostos tóxicos, microplásticos, pequenos cacos de vidro e outras substâncias derivadas de outros resíduos. O não uso de sacolas ou o uso de sacolas compostáveis para o acondicionamento dos resíduos sólidos orgânicos é um fator que contribui para uma melhor qualidade do composto gerado.

Quando os resíduos orgânicos não são segregados na fonte e, conseqüentemente, são acondicionados com rejeitos e outros resíduos, tem-se um resíduo misto, com maior grau de impurezas, fato este que limita as situações de aplicação do composto produzido.

A presença de resíduo orgânico disposto de forma ambientalmente inadequada em lixões gera riscos à saúde pública e problemas ambientais, na medida em que atrai animais vetores e transmissores de doenças; contamina o solo e a água subterrânea com chorume, que possui alto teor de carga orgânica e nitrogenada; e gera o biogás com presença substancial de gás metano, que é o gás mais eficiente em retenção de calor na atmosfera, contribuindo para o efeito estufa. Em aterros sanitários, os resíduos orgânicos reduzem o tempo de vida útil e aumentam os custos com operação e manutenção dos aterros, visto que a presença desses resíduos requer a adoção de técnicas e tecnologias voltadas à captação e ao tratamento do chorume e dos gases gerados da decomposição da matéria orgânica, principalmente o metano.

Na Tabela 2, são apresentadas as vantagens e desvantagens do tratamento e da reciclagem do resíduo orgânico proveniente de resíduo segregado na origem ou a partir de resíduo misto.

Tabela 2. Vantagens e desvantagens da reciclagem e do tratamento, por meio da compostagem, de resíduo orgânico segregado na origem e de resíduo misto e suas aplicações.

	Resíduo orgânico segregado na origem	Resíduo orgânico de origem mista
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> ● Estabilização da matéria orgânica ● Redução de massa e volume ● Evita o envio dessa fração dos resíduos para aterros sanitários ● Redução de GEE em aterros ● Aumento da vida útil do aterro ● Resíduos com baixos níveis de contaminação ● Ótima qualidade do composto ● Diminuição da pressão sobre o meio ambiente e dos riscos à saúde pública ● Potencialização da reciclagem de outros materiais, evitando sua contaminação 	<ul style="list-style-type: none"> ● Estabilização da matéria orgânica ● Redução de massa e volume ● Redução de GEE em aterros ● Aumento da vida útil do aterro ● Ausência de demanda de custos com atividades de sensibilização ambiental ● Menor custo com a coleta de resíduo misto ● Redução do envio dessa fração dos resíduos para aterros sanitários ● Diminuição da pressão sobre o meio ambiente e dos riscos à saúde pública
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> ● Demanda de custos com atividades de sensibilização ambiental para a segregação na origem ● Maior custo de coleta seletiva dos resíduos orgânicos 	<ul style="list-style-type: none"> ● Necessidade de disposição em aterro sanitário, a depender da qualidade do composto ● Níveis mais elevados de contaminação ● Menor qualidade do composto ● Restrições de aplicação do composto ● Regras mais exigentes de licenciamento e manejo ● Necessidade de métodos e tecnologias mais caras e complexas para triagem e reciclagem
Aplicação	Composto com a qualidade exigida segundo regulamento pode ser destinado	Composto com restrições de aplicação em culturas alimentícias, devido à sua baixa

1.3 Escalas e métodos de reciclagem dos resíduos orgânicos

O processo de reciclagem dos resíduos orgânicos pode se dar em escalas distintas, podendo sua gestão ser feita de diversas formas, como:

- individual ou domiciliar: resíduos orgânicos gerados por meio do consumo próprio em uma residência, ou um pequeno espaço comercial (sala/escritório);
- coletivo ou comunitário: em condomínio de casas ou prédios, em um bairro, vila ou comunidade, com porte maior do que individual;
- institucional ou empresarial: realizado por entidade pública ou privada (como escolas, centros de saúde, universidades, empresas, restaurantes ou indústrias) e;
- municipal ou consorciada: gerenciado por meio da gestão municipal ou por um consórcio de municípios, podendo ocorrer de forma centralizada (unidades de tratamento de maior porte que concentram a recepção dos resíduos em um único local) ou descentralizada (unidades de tratamento distribuídas em diferentes localidades e mais próximas das fontes geradoras dos resíduos).

Os principais processos de reciclagem dos resíduos orgânicos são a compostagem, a vermicompostagem, a biodigestão anaeróbia e o manejo de podas e galhadas, que diferem nos métodos e nas tecnologias adotadas.

1.4 Compostagem

A compostagem é um método aeróbio de reciclagem e tratamento dos resíduos orgânicos que tenta reproduzir algumas condições ideais observadas no processo natural para acelerar a degradação bem como garantir a segurança do processo. Desta forma, é feito um controle da umidade, da temperatura e do nível de oxigênio e nutrientes (carbono e nitrogênio), favorecendo que os macro e microrganismos (fungos e bactérias, como actinomicetos) atuem na acelerada degradação da matéria orgânica, garantindo a eliminação dos patógenos e evitando a presença de vetores de doenças. Ao final do processo, os resíduos reduzem de volume, transformando-se em um material de cor e textura homogênea similar a um solo fértil, chamado de composto orgânico.

O processo de compostagem pode ser feito por meio de métodos, técnicas e tecnologias simples até as mais sofisticadas, e o composto produzido pode ser utilizado diretamente no solo, em jardins, hortas e plantações. Contudo, necessita ser bem operado para não gerar odores nem proliferar vetores, garantindo, com isso, condições de aerobiose ao longo de todo o processo e resultando em um composto estabilizado ou maturado. A manutenção da temperatura na faixa termofílica (> 45° C) por determinado período é fundamental para a eliminação dos patógenos e inativação de sementes de ervas daninhas.

A adoção da prática da compostagem está fortemente associada, em qualquer uma das escalas, a um nível ampliado de sensibilização das pessoas em torno da problemática da geração e destinação adequada dos resíduos orgânicos, por meio de um processo de mobilização e de educação ambiental que fortalecem o envolvimento individual e coletivo na busca por soluções.

As características relevantes de distinção entre os processos aeróbios atuais, são:

- a formação da área de decomposição e a geometria das leiras;
- o tipo de aeração;
- o tipo do sistema de entrada, saída e de revolvimento.

Esses diversos arranjos tecnológicos que variam desde processos mais simples, em áreas abertas com poucos maquinários, até os mais complexos, em áreas fechadas, extremamente automatizado, permitem que o processo de compostagem seja aplicado em áreas com condições bastante diversificadas independente das condições climáticas ou gravimétricas dos resíduos, conforme retratado na “Aplicação do tratamento mecânico-biológico de resíduos no Brasil” (FRICKE; DICHTL; SANTEN; MÜNNICH; BAHR; HILLEBRECHT; SCHULZ, 2007). A Tabela 3 apresenta a sistematização das tecnologias aeróbias.

Sistematização das tecnologias aeróbias

Tabela 3. Sistematização das tecnologias aeróbias.

	Compostagem extensiva	Compostagem intensiva
Grau de automatização	Baixo	Alto
Proteção contra a emissão de ar	Sob pátio coberto ou coberturas semipermeáveis	Completamente ou parcialmente em áreas fechadas
Disponibilidade de área	Alta	Baixa
Controle de emissões	Baixo	Alta
Custos	Investimento e custos de operação baixos	Investimento e custos de operação altos
Capacidade de processamento⁽¹⁾	Baixo, até 10.000 t/ano	Médio e Alto, a partir de 20.000 t/ano

Fonte: Fricke, Dichtl, Santen, Münnich, Bahr, Hillebrecht e Schulz (2007).

⁽¹⁾A capacidade de processamento citada é apenas uma referência, visto que toma como base o mercado alemão, o qual tem restrições mais severas em relação a emissões atmosféricas.

Sistemas extensivos

Os sistemas extensivos são caracterizados pelo seu potencial de descentralização do gerenciamento dos resíduos orgânicos, que possibilita uma distribuição do tratamento em unidades de compostagem com tecnologias mais simples e de baixo custo, aplicáveis a menores quantidades de resíduos, de modo que esse tratamento possa ser realizado próximo aos núcleos geradores de resíduos.

Uma importante referência para o fomento dos modelos descentralizados de gestão de resíduos orgânicos é o Boletim Técnico intitulado “Critérios técnicos para elaboração de projeto,

operação e monitoramento de pátios de compostagem de pequeno porte”, elaborado, em parceria, pelo Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo (CEPAGRO), pela COMCAP (Companhia de Melhoramentos da Capital), FATMA (Fundação do Meio Ambiente) e Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), com apoio da FAPESC (Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina).

Esse documento descreve alguns métodos de compostagem, dentre os quais destacam-se os seguintes métodos operados por meio de sistemas extensivos:

Compostagem com revolvimento de leiras

De acordo com Fapesc (2017), esse método consiste em leiras piramidais, que devem ser revolvidas periodicamente de modo a garantir a oxigenação necessária para o processo de compostagem. Tendo em vista que a arquitetura e a composição desse tipo de leira impossibilitam a manutenção do oxigênio em seu interior, gerando, portanto, zonas anaeróbicas suscetíveis ao processo de fermentação, faz-se necessário o revolvimento de toda a estrutura da pilha de compostagem. Esse revolvimento pode ser feito manualmente com o auxílio de garfos agrícolas, pás e enxadas, por exemplo, ou, a depender da dimensão da leira, de forma mecanizada com o uso de máquinas carregadeiras ou micro tratores adaptados.

A falta de cobertura dessas leiras apresenta dificuldades quanto ao controle de vetores de doenças (moscas, ratos e baratas), produção de lixiviado e emissão de odores, sendo mais adequado para países de clima temperado, no entanto, é bastante utilizado no Brasil. Devido a essas dificuldades, a adoção desse método no Brasil requer um conjunto de medidas para minimizar os impactos na vizinhança, como uma maior distância de centros populacionais ou proteção por meio de barreiras verdes ao redor da unidade de compostagem.

Segundo Inácio & Miller (2009), esse método apresenta melhor desempenho na compostagem de resíduos vegetais, provenientes dos serviços de poda e capina, por exemplo, do que na compostagem de resíduos domiciliares (restos de alimentos), em função de seu maior peso e alto teor de umidade (que favorecem a compactação e redução da oxigenação na leira).

Além disso, Fricke, Dichtl, Santen, Münnich, Bahr, Hillebrecht e Schulz (2007) retratam que a compostagem aeróbia ocorre em leiras de diferentes dimensões e perfis, onde durante sua montagem e revolvimento as pás-carregadeiras são empregadas para a execução de leiras altas e os equipamentos de revolvimento para leiras baixas e amplas. As leiras alcançam alturas entre 1,50 a 3,50 m, dependendo do seu perfil. Os perfis mais comuns são os triangulares, trapezoidais e de perfis planos. Para a mitigação de emissões dos percolados são preparadas bases compostas por camadas de palha, casca, paletes de madeira, entre outros materiais que o mercado já emprega.

Leiras Estáticas com Aeração Passiva (Método UFSC1)

Esse é um método de compostagem de baixo custo que vem sendo adotado e aprimorado por professores e pesquisadores da Universidade Federal de Santa Catarina, bem como por ONGs, empresas e prefeituras.

Segundo Fapesc (2017), o método UFSC, ou método de compostagem termofílica por meio de leiras estáticas com aeração passiva, foi apresentado à comunidade acadêmica, em 1994, pelo professor Paul Richard Miller, do Departamento de Engenharia Rural do Centro de Ciências

¹ Alguns dos principais estudos sobre o método UFSC são Inácio & Miller (2009) e Romano (2005).

Agrárias da UFSC, sendo derivado do método artesanal indiano de compostagem termofílica e adaptado à realidade brasileira.

Trata-se, portanto, de uma compostagem termofílica em leiras estáticas com aeração passiva, cuja principal característica é a arquitetura utilizada na montagem das leiras, onde são empregados materiais estruturantes (como galhos, palha e serragem) em conjunto com camadas de resíduos orgânicos (restos de alimentos), possibilitando a aeração de toda a leira por convecção natural sem a necessidade de revolvimentos ou tombamentos da leira durante a operação.

Em virtude das leiras serem cobertas com material estruturante, geralmente com palha, os odores e a presença de vetores de doenças são minimizados nesse método, o que possibilita a sua aplicação próximo a centros urbanos.

Por meio desse método, busca-se estabelecer condições para a decomposição microbiológica dos resíduos orgânicos sob condições termofílicas, quando a compostagem atinge temperaturas acima de 45° C (podendo atingir picos de mais de 70 °C), de modo a promover a higienização do processo e eliminação de organismos patógenos, além da rápida degradação dos resíduos orgânicos.

De acordo com Fapesc (2017), essa forma de compostagem apresenta baixo custo de implantação, pois não há grandes exigências de equipamentos e utiliza o material estruturante de fácil disponibilidade local, no entanto, requer uma maior mão de obra para manutenção do pátio de compostagem, em virtude de ser um processo artesanal.

No manual “Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos” (MMA, 2017), o Ministério do Meio Ambiente apresenta alguns projetos de sucesso no Brasil que utilizaram o método UFSC, especialmente no contexto da gestão comunitária e institucional (de grandes geradores) de resíduos orgânicos. Algumas dessas iniciativas são descritas no item 2.1 deste caderno, que aborda as experiências brasileiras de valorização dos resíduos orgânicos.

Sistemas intensivos

Em “Aplicação do tratamento mecânico-biológico de resíduos no Brasil” (FRICKE; DICHTL; SANTEN; MÜNNICH; BAHR; HILLEBRECHT; SCHULZ, 2007) temos a compostagem em sistemas encapsulados significando a compostagem em um ambiente fechado, com troca térmica minimizada com a atmosfera, vários métodos de aeração e revolvimento mecânico para controle do processo. Estes sistemas são concebidos para minimizar os odores e tempo da decomposição em decorrência do controle do fluxo de ar, temperatura e da concentração de oxigênio. Sistemas encapsulados tornam possível a coleta das emissões gasosas, dos odores e dos particulados. A aeração ativa, o umedecimento e a homogeneização permitem o controle e a otimização da fase de estabilização biológica, desta forma, acelerando consideravelmente a fase principal da biodegradação.

Compostagem em Leiras Triangulares com Aeração Forçada

Sistemas de aeração forçada foram desenvolvidos com o objetivo de mitigar odores e acelerar a decomposição.

A compostagem em leiras é tipicamente empregada para quantidades maiores, requerendo largas áreas. Adicionalmente, podem ser identificados problemas de odor e de percolação excessiva durante a decomposição nas leiras. Para remediar estes problemas, em áreas onde as condições pluviométricas são intensas ou mesmo onde a população afetada

encontra-se localizada na proximidade da planta de compostagem, devem ser desenvolvidos sistemas simples de cobertura como pátios cobertos ou membranas semipermeáveis, conforme “Aplicação do tratamento mecânico-biológico de resíduos no Brasil” (FRICKE; DICHTL; SANTEN; MÜNNICH; BAHR; HILLEBRECHT; SCHULZ, 2007).

Segundo Fricke et al. (2007, p. 42):

“Outro método empregado para uma redução sensível dos odores desagradáveis consiste na cobertura das leiras por material tipo membrana semipermeável (FRICKE et al., 1999). Trata-se de um material têxtil, formado por uma camada ativa de microporos e laminada com uma lona plástica altamente resistente visando garantir estabilidade física. A aplicação de membranas permeáveis conduz a uma redução significativa das emissões de odores desagradáveis nas leiras descobertas”. (FRICKE et al., 2007, p. 42)

Sistema de Compostagem em Leira Envelopada

O processo de compostagem em leiras, cobertas por lonas especiais e aeradas por aeração forçada, com suprimento controlado de oxigênio, se apresenta como o estado da arte da tecnologia moderna do ponto de vista tecnológico bem como, ambiental. Este processo se destaca pelo manuseio simples e flexível, rapidez de operação e alta segurança de funcionamento.

Sistema de Compostagem em Túnel

A compostagem em túnel ocorre em áreas totalmente fechadas que são alimentadas e esvaziadas através da pá-carregadeira. Alguns sistemas empregam durante a atividade de esvaziamento pisos móveis. Os resíduos são aerados de forma intensiva e o ar exaurido pode ser coletado e tratado de forma eficiente.

Já em “Aplicação do tratamento mecânico-biológico de resíduos no Brasil” (FRICKE; DICHTL; SANTEN; MÜNNICH; BAHR; HILLEBRECHT; SCHULZ, 2007) temos relatado que os túneis de compostagem intensiva são construídos em concreto sob área plana. Uma série de tubos de aeração, posicionados paralelamente, são instalados longitudinalmente no piso de concreto do túnel, por baixo da área que receberá os resíduos.

Os pequenos orifícios são perfurados para receber as conexões (pequenos bocais cônicos usados para distribuir o ar), que são coladas nos tubos. As conexões apresentam bicos cônicos para impedir os bloqueios. Durante o processo de compostagem, um ventilador sopra ar diretamente na câmara de compostagem e também nos tubos de aeração sob o piso do túnel. As conexões presentes no piso do túnel fornecem uma aeração pressurizada, para assegurar que o ar penetre no material. Desta forma, o processo de compostagem pode ser adequadamente controlado.

Compostagem em Leira Tabular

Neste arranjo as vantagens de um sistema fechado são combinadas aos métodos de compostagem em leiras. Em compartimentos completamente automatizados, as frações orgânicas são amontoadas em leiras planas, aeradas de forma forçada, e revolvidas automaticamente por uma pá rotativa. O material é umedecido, quando necessário, através de sistemas pulverizadores localizados acima de leira ou durante o processo de revolvimento. Um piso perfurado permite que o ar seja lançado na leira, o ar exaurido é captado e direcionado para

um biofiltro, a fim de evitar perturbações pelos odores. No decurso da decomposição, os resíduos são revolvidos na sua totalidade. Após este período, a massa é encaminhada para uma área de pós-maturação, segundo descrito em “Aplicação do tratamento mecânico-biológico de resíduos no Brasil” (FRICKE; DICHTL; SANTEN; MÜNNICH; BAHR; HILLEBRECHT; SCHULZ, 2007).

Vermicompostagem

Na vermicompostagem, são utilizadas minhocas para o tratamento e a reciclagem dos resíduos orgânicos, ressaltando-se que elas desempenham naturalmente um papel fundamental na ciclagem dos nutrientes no solo e decomposição da matéria orgânica. A vermicompostagem é realizada em estruturas apropriadas para atuação das minhocas na decomposição dos orgânicos, chamadas minhocários.

Os minhocários são fechados e cobertos, evitando, assim, a fuga das minhocas e o excesso de umidade. Utilizam-se, geralmente, caixas de plástico empilhadas com passagens e furos entre si para que o líquido resultante do processo possa escoar e não se acumular no local onde ficam as minhocas. Nesse processo, é necessário adicionar matéria seca (restos de folhas, serragem, celulose), fonte de carbono aos resíduos, e as minhocas devem ser de espécie que consuma resíduos frescos, como as californianas ou as gigantes africanas.

Este tipo de tratamento é adequado para locais com restrição de espaço, sendo, geralmente, utilizado em unidades habitacionais. Trata-se de um método prático, que demanda pouco espaço e pode ser feito por qualquer pessoa, de crianças a idosos. É possível fazer minhocários caseiros, com baldes e tampas, ou ainda comprá-los em sítios eletrônicos especializados, em diversos tamanhos.

Apesar do fácil manuseio, o minhocário requer alguns cuidados, por se tratar de um ambiente controlado com presença de seres vivos. O desequilíbrio nas condições de umidade ou temperatura (excesso de calor ou de frio), por exemplo, pode matar as minhocas ou mesmo levá-las a fugir. Outro importante aspecto deste método são as restrições de alimentos. Resíduos contendo restos de carne, alimentos cítricos, alimentos cozidos ou com muito sal podem ser prejudiciais às minhocas se colocados em grandes quantidades.

1.5 Biodigestão anaeróbia

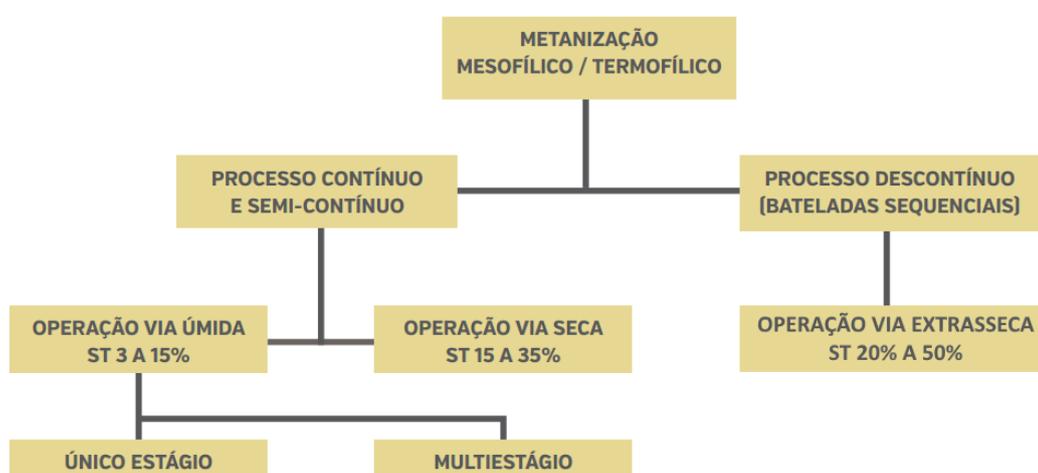
O processo de biodigestão anaeróbia ocorre com a decomposição da matéria orgânica na ausência de oxigênio por um consórcio microbiano em equipamentos geralmente denominados reatores ou biodigestores, gerando, além do composto orgânico, o biogás. Diferentemente da compostagem, onde o gás gerado é composto majoritariamente por dióxido de carbono e não é aproveitado, o gás gerado na biodigestão anaeróbia possui como principal constituinte o metano (CH₄), hidrocarboneto mais simples da natureza. O metano pode ser aproveitado para a geração de calor, energia ou combustível de motores de combustão interna, sendo esta a principal vantagem deste tipo de tratamento.

Para o tratamento da fração orgânica, podem ser usadas diversas tecnologias, geralmente subdivididas pela concentração de umidade presente no composto. Sistemas de pequena escala geralmente utilizam tecnologia úmida, onde o composto é gerado na fase líquida; sistemas de

grande escala utilizam processos secos ou extrassecos, onde o composto é gerado nas fases semissólida e sólida, respectivamente.

Segundo Austermann et al. (2007), as tecnologias de biodigestão anaeróbia dos RSU podem ser diferenciadas conforme algumas características básicas de processo, são elas:

- Temperatura do processo, sendo mesofílico (37° - 42°C) ou termofílico (50° – 60°C);
- Sistema de operação, basicamente relacionado aos processos de introdução/extração do substrato, podendo ser por processo contínuo, semicontínuo ou descontínuo (bateladas sequenciais);
- Concentração de sólidos totais (ST), operando via úmida, via seca ou extrasseca;
- Divisão das etapas de digestão, em um estágio único ou multiestágio.



Fonte: Probiogas, 2015.

Figura 2. Características básicas de processo das diferentes tecnologias de biodigestão anaeróbia.

As tecnologias úmidas são utilizadas principalmente no setor de tratamento de esgoto e agrossilvopastoril. Para resíduos sólidos urbanos, determinadas tecnologias podem ser usadas no tratamento de resíduos orgânicos oriundos de coleta indiferenciada, devendo ser prevista uma estrutura de triagem prévia que retire os resíduos não orgânicos, de modo a evitar a entrada de inertes no biodigestor. Contudo, esta tecnologia exige infraestrutura para captação do metano e adoção de cuidados especiais para a operação e segurança do sistema.

A presença de impróprios nos sistemas de biodigestão anaeróbia não compromete diretamente o processo anaeróbio, mas prejudica a eficiência operacional de plantas e compromete as estruturas dos componentes do sistema, podendo culminar na falha e interrupção do processo. O problema gerado pela existência de impróprios é agravado em sistemas de biodigestão anaeróbia que operam em regime de fluxo contínuo ou semicontínuo, que têm tido problemas quanto à operação de reatores com RSU com elevado índice de impróprios. O mesmo não ocorre nos sistemas que operam via processos descontínuos, ou em bateladas, também denominados extrassecos, uma vez que ocorre a completa extração do material ao final do tempo de digestão, evitando quaisquer riscos de obstruções ou wash-out da biomassa, já que os microorganismos ficam mantidos em um reator a parte (Probiogas, 2015).

Por outro lado, se considerarmos as principais fontes geradoras isoladamente, como os restaurantes industriais, centrais de abastecimento (CEASAs), etc., pode-se garantir resíduos orgânicos de qualidade, segregados na fonte, e divergir sua destinação do aterro sanitário. Neste caso, as tecnologias de biodigestão anaeróbia seca poderiam ser aplicadas, caso a reduzida escala não fosse impeditivo, uma vez que estas tecnologias tendem a se viabilizar economicamente com ganhos de escala dos projetos.

Além disto, os custos de importação são outro fator impeditivo, pois reduzem a viabilidade econômica da planta face à imprevisibilidade das receitas a serem geradas (taxa de recepção, venda de energia, venda do composto, tratamento/utilização do efluente líquido). Soma-se ainda a falta de referências nacionais de plantas similares, que somada à dificuldade de obtenção de serviços de pós-venda e pouca capacitação existente no mercado, tendem a aumentar o risco dos projetos. Todos estes fatores se constituem em barreiras para a implantação de tecnologias secas europeias no Brasil.

A implantação de uma planta de biodigestão anaeróbia implica em condições fundamentais para sua efetividade, como a coleta regular; um sistema de triagem para separação dos recicláveis e impróprios (vidros, madeira, fragmentos em geral); um sistema de biodigestão anaeróbia para a fração orgânica recuperada; a necessidade da disposição do material que não se enquadra como orgânico nem como reciclado, que pode ser direcionada a aterros sanitários ou tratamento térmico, visando a geração de energia adicional; e por fim, uma unidade de pós-tratamento da matéria orgânica digerida visando a geração de um composto de qualidade (compostagem e refino) e o tratamento/utilização do efluente líquido. A biodigestão anaeróbia, em si, se constitui em apenas uma etapa de um processo de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos integrado (Probiogas, 2015).

A biodigestão anaeróbia dos resíduos orgânicos se mostra estratégica uma vez que além do composto gera-se energia renovável, que, além de fonte de energia elétrica e térmica, pode ser utilizada como combustível veicular. Isso vai ao encontro da Política Nacional de Biocombustíveis (RENOVABIO), que estabelece metas nacionais de descarbonização do setor de transportes do Brasil. Somado a isso, o biometano de resíduos sólidos urbanos foi considerado um biocombustível estratégico que deve ser incentivado. Vale ressaltar que, segundo o Balanço Energético Nacional (EPE, 2018), apesar de a matriz energética brasileira ser predominantemente de fontes renováveis (80,4%), o consumo total de energia no Brasil é majoritariamente de fontes não renováveis. Petróleo e derivados correspondem a 36,4% da demanda energética brasileira, o que reduz para 42,9% a geração de energia a partir de fontes renováveis em 2017.

Portanto, assim como em diversos outros países, há uma prioridade em utilizar tecnologias de biodigestão anaeróbia para a estabilização da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos.

Os documentos produzidos pelo Projeto Probiogás indicados na bibliografia deste caderno detalham os tipos de tecnologia e as possibilidades de utilização do biogás.

Manejo de podas e galhadas

Alguns tipos de resíduos orgânicos, como a celulose e a lignina, têm a característica de ser muito ricos em carbono e, desta forma, mais secos. Estes resíduos têm menor propensão a atrair vetores de doenças ou causar problemas ambientais quando armazenados ou processados ao ar livre. É o caso dos resíduos de podas e galhadas, gerados na maior parte dos municípios

brasileiros que mantêm serviços de poda por conta da manutenção da rede elétrica, da segurança (árvores ou galhos com risco de queda) ou de fins paisagísticos.

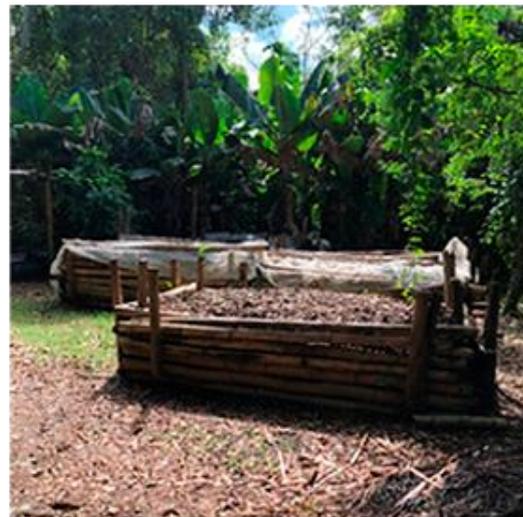
Estes resíduos podem ser processados de forma mais simples e destinados como insumo para a formação do composto, substrato orgânico ou fonte de energia. A trituração de galhos, por exemplo, é suficiente para gerar cavacos que têm utilidades diversas, como material de cobertura para canteiros agrícolas ou paisagísticos.



Fotografia: Cássio Araújo.

Figura 3. Jardim Botânico de Florianópolis (SC), onde podas e galhadas são usadas para agricultura urbana.

O cavaco também pode ter grande aplicação como fonte de carbono e como material estruturante na mistura dos processos de compostagem e biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos ricos em nitrogênio (como resíduos de alimentos e lodos de estação de tratamento de esgoto), ou mesmo de resíduos sólidos urbanos.



Fotografia: Cássio Araújo.

Figura 4: Projeto Família Casca, em Florianópolis, onde podas e galhadas servem de insumo em minhocário e leira de compostagem respectivamente.

Já os resíduos maiores, como troncos e toras, podem ser aproveitados para fabricação de móveis e outros utensílios de madeira, como formadores de solos em plantios agroflorestais, como substrato produzido para criação de mudas ou mesmo como fonte de energia térmica para queima em caldeiras.



Fonte: Banco de Imagens ProteGEEr. Fotografia: Sônia Vill.

Figura 5. Horta comunitária em Brasília (DF), onde podas e galhadas servem de cobertura de canteiro.

São diversas as alternativas tecnológicas e formas de aplicação destas tecnologias na reciclagem de resíduos orgânicos. Por serem, em geral, processos relativamente simples e com vasta gama de aplicações, desde a escala domiciliar até a escala industrial, há inúmeras possibilidades de políticas públicas para promover estas práticas e reduzir a quantidade de resíduos orgânicos enviados para disposição final.

1.6 Arcabouço legal e normativo

O Brasil vem avançando na consolidação de um quadro legal e normativo voltado para a gestão integrada dos resíduos sólidos, na qual estão abrangidos a reciclagem e o tratamento dos resíduos orgânicos.

No âmbito legislativo, o principal avanço está na instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305/2010, que estabelece, no artigo 9º, o dever de observância da ordem de prioridade na gestão e no gerenciamento dos resíduos sólidos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (em aterros sanitários).

Já no artigo 36, inciso V, a lei estabelece a necessidade de o titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos (municípios e Distrito Federal) “implantar sistema de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articular com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido”. Desta forma, a promoção da compostagem da fração orgânica dos resíduos, assim como a implantação da coleta seletiva e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, integra o conjunto de obrigações dos municípios, instituída pela Lei nº 12.305/2010.

Dadas as definições de “reciclagem” e “rejeitos” da PNRS, a transformação de resíduos orgânicos em compostos orgânicos (como biodigestão anaeróbia ou compostagem) também pode ser entendida como processo de reciclagem. Nessa perspectiva, 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.

Em consonância com a PNRS e de forma complementar a ela, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) aprovou a Resolução nº 481, de 3 de outubro de 2017, que estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos. Esta resolução é um importante marco no reconhecimento da compostagem como forma de reciclagem, determinando critérios de qualidade do processo (como o controle de temperatura) e de controle ambiental em unidades de compostagem, além da preferência pela segregação na origem dos resíduos em, no mínimo, três frações (resíduos recicláveis, resíduos orgânicos e rejeitos).

Para além deste arcabouço em nível nacional, alguns estados possuem normativos próprios voltados à parametrização, por exemplo, de processos de licenciamento de unidades de compostagem:

- Paraná: Resolução CEMA nº 090, de 3 de dezembro de 2013, que estabelece condições e critérios para empreendimentos de compostagem de resíduos sólidos de origem urbana e de grandes geradores, bem como para o uso do composto gerado, e dá outras providências;
- São Paulo: Resolução SMA nº 102, de 20 de dezembro de 2012, que dispõe sobre dispensa de licenciamento ambiental para as atividades de compostagem e vermicompostagem em instalações de pequeno porte, sob condições determinadas;
- Santa Catarina: Resolução CONSEMA nº 98, de 5 de maio de 2017, que aprova, nos termos do inciso XIII do artigo 12 da Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009, a listagem das atividades sujeitas ao licenciamento ambiental, define os estudos ambientais necessários e estabelece outras providências.

Já a qualidade do composto produzido é, em geral, regulada pelas instruções normativas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) que tratam de fertilizantes e condicionadores de solos, em especial:

- Instrução Normativa SDA nº 25/2009, que institui normas sobre as especificações e garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura;
- Instrução Normativa SDA nº 27/2006 (alterada pela Instrução Normativa SDA nº 7, de 12 de abril de 2016), que estabelece as concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas em insumos agrícolas.

Quanto à utilização do biogás, pode-se destacar as seguintes regulações a nível federal:

- Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017: dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências;
- Resolução ANP nº 685, de 29 de junho de 2017: estabelece as regras para aprovação do controle da qualidade e a especificação do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais a ser comercializado em todo o território nacional;
- Resolução ANP nº 8, de 30 de janeiro de 2015: estabelece a especificação do biometano contida no Regulamento Técnico ANP nº 1/2015, parte integrante desta resolução;
- Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL): altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012 (que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências), e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.

Quanto à utilização do biogás, pode-se destacar as seguintes regulações a nível estadual:

- Convênio ICMS nº 112, de 11 de outubro de 2013: autoriza Bahia, Mato Grosso, Rio de Janeiro e São Paulo a conceder redução de 18% para 12% do ICMS nas saídas internas de biogás e biometano;
- Lei nº 20.824, de 31 de julho de 2013: altera o Código Tributário de Minas Gerais, isentando de ICMS as partes, componentes e ferramentas usados para a conexão de energia elétrica do biogás;
- Decreto nº 59.038, de 3 de abril de 2013 (Programa Paulista de Biogás): determina que, nas frotas do estado com motor diesel, deve ser utilizado combustível com 20% de biodiesel, podendo este ser substituído por biogás e/ou biometano;
- Lei nº 6.361, de 18 de dezembro de 2012 (Política Estadual de Gás Renovável): obriga as concessionárias de distribuição de gás do Rio de Janeiro a adquirir gás natural renovável até o limite de 10% do volume de gás natural convencional distribuído por elas;
- Decreto nº 58.659, de 4 de dezembro de 2012: institui o Programa Paulista de Biogás, que visa incentivar e ampliar a participação de energias renováveis na matriz energética do estado de São Paulo e estabelecer a adição de um percentual de biometano no gás canalizado no estado.

2. Análise situacional dos resíduos orgânicos no Brasil

A população brasileira passou de 93,1 milhões de pessoas em 1970 para quase 210 milhões em 2018, ou seja, mais que duplicou em menos de 50 anos. Associado a isto, o incremento na produção e disponibilização de materiais descartáveis (industrialização dos bens de consumo) se deu basicamente a partir da década de 1960, quando se iniciou a produção

massiva do plástico e a disseminação de supermercados, paralelamente ao aumento do padrão de consumo e à relativa abundância de alimentos. Desta forma, a taxa de geração de resíduos *per capita* cresceu substancialmente, sendo que a fração orgânica (restos e perdas de alimentos, podas etc.) representa em média mais de 50% dos resíduos gerados no Brasil.

Considerando a quantidade descartada (superior a 50% em massa dos resíduos) e as altas taxas de emissão de GEE (metano) derivados da degradação dos resíduos orgânicos nos aterros sanitários, medidas para esta fração dos resíduos possuem um maior impacto de redução de emissões de GEE provenientes de resíduos sólidos urbanos.

Desta forma, pelo fato de haver uma substancial perda de metano em forma difusa em aterros sanitários, mesmo os que contam com modernos sistemas de captação de gases, medidas de reciclagem da fração orgânica são urgentes e essenciais para conter as emissões de GEE no Brasil. Essa preocupação está associada ao crescimento contínuo dessas emissões nas últimas décadas (1990-2010), justamente em razão da maior geração e disposição em aterros sanitários dos resíduos urbanos. Isto deve-se ao fato que em aterros sanitários há uma maior geração de gás metano do que em lixões, pois estes sistemas são mais aeróbios, liberando mais dióxido de carbono do que metano.

Visando também a redução das emissões de GEE, se faz necessário o estabelecimento de estratégias claras de recuperação de metano de aterros sanitários (a curto prazo), e de ações de reciclagem de resíduos orgânicos (curto e médio prazo).

Apesar da relativa simplicidade das tecnologias e dos métodos disponíveis para valorização dos resíduos orgânicos no Brasil, a implantação de sistemas de compostagem enfrenta inúmeras dificuldades associadas a deficiências na capacidade institucional, técnica e financeira de parcela dos municípios brasileiros para o planejamento, a gestão e a prestação de serviços. Acrescenta-se a isso a aplicação inadequada de tecnologias, por vezes incompatíveis com a realidade local, podendo tornar os projetos caros para o contexto em que estão inseridos, ou mesmo produzindo composto orgânico de baixa qualidade e baixa aceitação no mercado.

No Brasil, atualmente, a compostagem é pouco reconhecida quanto às suas potencialidades e efetividade como forma de enfrentamento dos problemas relacionados aos resíduos sólidos urbanos. Isso se deve, em grande parte, a experiências negativas, ao longo da década de 1980, de financiamento por parte do governo federal aos municípios de unidades de triagem e compostagem, muitas das quais não entraram em funcionamento e outras foram fechadas em pouco tempo.

Os principais fatores que determinaram e influenciaram significativamente o fechamento das unidades de triagem e compostagem foram: falta de diagnóstico e planejamento consistente; ausência de sistemas de coleta seletiva; carência de conhecimento técnico dos profissionais; baixo controle operacional durante o processo de triagem e compostagem; erros de projeto (tecnologias inadequadas para a realidade brasileira); pouco comprometimento da gestão pública municipal; baixa conscientização da sociedade para a importância da gestão dos resíduos sólidos urbanos; e a baixa qualidade do composto gerado a partir de resíduos mistos.

Existem, contudo, experiências no país que refletem um olhar sistêmico sobre o ciclo da matéria orgânica ao considerarem, na gestão desta fração dos resíduos sólidos urbanos, um conjunto de ações encadeadas e interligadas, que extrapolam a dimensão tecnológica. Nesta perspectiva, a valorização dos resíduos orgânicos nos sistemas municipais de gestão integrada dos resíduos sólidos abrange tanto os aspectos prévios ao tratamento (como a qualidade dos resíduos em função da segregação na origem, seu adequado acondicionamento, bem como a capacidade

do sistema público de coletá-los seletivamente) quanto o tratamento em si e o pós-tratamento, assim como o escoamento do composto produzido e o uso potencial do biogás gerado.

A segregação dos resíduos na origem, em três frações (orgânicos, recicláveis secos e rejeitos), tem se mostrado uma prática de gestão muito eficiente e salutar para garantir a produção de composto de boa qualidade, com baixo risco de contaminação e, conseqüentemente, de boa aceitação por agricultores. A associação da prática da compostagem com a promoção do uso do composto produzido em projetos de agricultura urbana e periurbana ou de apoio à agricultura familiar também é exemplo de sucesso na garantia da continuidade desta prática, fechando o ciclo da gestão dos resíduos orgânicos.

Outro fator importante para o sucesso da prática da compostagem está relacionado à diversificação das estratégias de reciclagem, aproveitando as diferentes escalas de geração dos resíduos orgânicos (doméstica, comunitária, grandes geradores, institucional etc.) e as possibilidades de descentralização do tratamento, reduzindo a necessidade de transporte e levando a benefícios ambientais de forma distribuída, próxima aos locais de geração dos resíduos.

Em relação à biodigestão, embora haja experiências de tratamento de resíduos sólidos por processos anaeróbios com aproveitamento de biogás no Brasil desde a década de 1990, estes projetos se restringiam ao tratamento de resíduos agrícolas ou agroindustriais, como os resíduos de suinocultura, de abatedouros de aves e outros animais. Porém, a partir de 2013, foram realizados três projetos em diferentes escalas com tecnologia nacional que obtiveram resultados positivos e possuem grande potencial de replicação no Brasil, que serão apresentados no tópico 2.1.

2.1 Experiências brasileiras de valorização dos resíduos orgânicos

Algumas iniciativas voltadas à valorização dos resíduos orgânicos, desenvolvidas e implementadas em diferentes cidades brasileiras, merecem destaque pelo caráter inovador em promover, a partir de um modelo descentralizado de gestão, a segregação do resíduo orgânico na origem e o tratamento por meio de processos de compostagem e biodigestão anaeróbia.

As experiências de compostagem têm resultado em ganhos qualitativos na gestão desta fração do resíduo orgânico, por meio do tratamento em diferentes escalas. Estão refletidos nesse cenário elevados níveis de sensibilização e mobilização da população ou mesmo de grupos específicos em prol de uma mudança nos hábitos de descarte desse tipo de resíduo, por meio da atuação ativa que fortalece os vínculos comunitários e o sentido de pertencimento e protagonismo dos geradores no processo de transformação cultural e de comportamentos em relação aos resíduos orgânicos.

A seguir, são exemplificadas experiências brasileiras de valorização dos resíduos orgânicos, com diversas escalas, tecnologias e estratégias de gestão.

2.2 Compostagem

Compostagem doméstica: Composta São Paulo

Em 2014, o município de São Paulo lançou o projeto Composta São Paulo, uma iniciativa da Secretaria de Serviços da Prefeitura por meio da Autoridade Municipal de Limpeza Urbana (Amlurb), realizada pelas concessionárias de limpeza urbana LOGA e ECOURBIS. Concebido como piloto, no contexto dos sistemas extensivos de compostagem, o projeto integrou as estratégias do Programa Municipal SP Recicla, composto por uma rede de iniciativas voltadas à melhor destinação dos resíduos da cidade, tendo adotado o processo de vermicompostagem (compostagem doméstica com o uso de minhocas). Além disso, foi idealizado e executado pela Morada da Floresta, empresa que incentiva a compostagem doméstica como prática de educação ambiental visando à transformação de hábitos e à conscientização da população para a adequada gestão dos resíduos orgânicos.

O projeto possuía como principais objetivos: desenvolver metodologias e estratégias de replicabilidade; levantar informações pertinentes à construção de uma política pública que estimulasse a prática da compostagem doméstica na cidade de São Paulo; e criar um movimento social por uma cidade mais sustentável.

Os domicílios contemplados receberam uma composteira doméstica e seus moradores participaram de oficinas de compostagem e plantio, bem como integraram uma comunidade *online* de troca de conhecimento e experiências no Facebook. Essa comunidade se mantém ativa até hoje e vem fomentando a adesão de novos composteiros em São Paulo e por todo o país, o que demonstra o caráter multiplicador dessa iniciativa.

De acordo com dados disponibilizados no site do projeto, dos cerca de 10 mil inscritos, 2.006 domicílios foram contemplados (entre casas e apartamentos), impactando cerca de 7 mil moradores.² Mais de 250 toneladas de resíduos orgânicos foram compostadas em 6 meses de projeto e cerca de 2,5 mil pessoas passaram a compostar por influência direta dos participantes do projeto.



Disponível em: <<https://moradadafloresta.eco.br/projetos/composta-sao-paulo/>>. Acesso em: 18/10/2018.

² <https://www.compostasaopaulo.eco.br/resultados2014/#home/24>.

Figura 6. Composteira do Projeto Composta, São Paulo.

Compostagem comunitária: Revolução dos Baldinhos

O projeto conhecido como Revolução dos Baldinhos foi criado em 2008 na comunidade Chico Mendes, localizada no bairro Monte Cristo, em Florianópolis (SC). A motivação veio de um surto de leptospirose ocorrido em 2007, por conta da carência de saneamento básico e de precárias condições habitacionais, o que levou a óbito moradores locais. Diante deste cenário, o Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo (Cepagro), que já realizava atividades de educação ambiental, agroecologia e compostagem em escolas do bairro, expandiu o projeto, ganhando adesão da comunidade.

O projeto atua na distribuição de baldes às famílias interessadas para segregação dos orgânicos nas residências, que, posteriormente, alimentam bombonas localizadas em pontos de entrega voluntária (PEVs) estrategicamente distribuídos nas ruas. Estas bombonas, corretamente vedadas, impedem a proliferação de vetores de doenças. Sua coleta é feita pelos jovens integrantes do projeto com carrinhos manuais, que encaminham os resíduos para tratamento e reciclagem em um pátio de compostagem comunitário.

Baseando-se na gestão comunitária de resíduos orgânicos e na promoção da agricultura urbana, o projeto realiza trabalho de sensibilização das famílias para a correta separação da fração orgânica dos resíduos na origem. Além disso, estimula o cultivo de hortas em escolas e quintais das residências, geração de trabalho e renda, inclusão social, sanidade ambiental e segurança alimentar.

Até 2014, a Revolução dos Baldinhos conseguiu envolver mais de 200 famílias, reciclando cerca de 12 toneladas por mês de resíduos orgânicos, segundo relato dessa iniciativa, cadastrada na plataforma de Práticas de Educação Ambiental e Comunicação Social em Resíduos Sólidos (Educares) do MMA. Do composto produzido, parte é doada às famílias da comunidade, visando incentivar a agricultura urbana, e parte é comercializada para incrementar a renda dos jovens que compõem o grupo.

Devido à relevância dos serviços prestados, alinhadas com a PNRS, e ao potencial de replicação dessa iniciativa, essa prática comunitária ganhou reconhecimento entre entidades públicas e privadas dispostas a adotar a metodologia da Revolução dos Baldinhos. Esta se tornou, inclusive, uma das tecnologias sociais implantadas no projeto Minha Casa, Minha Vida.³ Esse projeto se enquadra nos sistemas extensivos de compostagem, onde é adotado o método de Leiras Estáticas com Aeração Passiva (Método UFSC).

³ Maiores informações: <http://educares.mma.gov.br/index.php/reports/view/211>.



Fotografia: Caroline Pertussatti.

Figura 7. Projeto Revolução dos Baldinhos, em Florianópolis (SC): ponto de entrega voluntário de orgânico em baldinhos e pátio de compostagem, respectivamente.

Compostagem institucional: Instituto Ecozinha

Em Brasília, destaca-se a experiência de gestão descentralizada dos resíduos orgânicos em escala empresarial implementada em 2017 pelo Instituto Ecozinha Restaurantes Sustentáveis.⁴ A principal motivação para a iniciativa se deu com a promulgação da Lei dos Grandes Geradores no Distrito Federal (Lei Distrital nº 5.610, de 16 de fevereiro de 2016), que enquadrou nesta categoria os estabelecimentos geradores de mais de 120 litros por dia de resíduos indiferenciados, atribuindo-lhes a responsabilidade pela destinação de seus resíduos.

Nesta perspectiva, um grupo de restaurantes se reuniu para destinar a fração orgânica para um pátio de compostagem e a fração dos recicláveis secos para cooperativas de catadores de materiais recicláveis. Ao adotar esta prática, estes restaurantes reduzem a quantidade dos resíduos a ser disponibilizados para a coleta efetuada pelo titular dos serviços, que pode chegar a um montante inferior ao limite estabelecido pelo Distrito Federal para os grandes geradores. Esta iniciativa possibilita que somente o rejeito, em quantidade inferior a 120 litros diários, seja disponibilizado para a coleta pelo titular da prestação do serviço de manejo de resíduos sólidos urbanos, com o pagamento apenas da Taxa de Limpeza Pública usual (sem contrapartida financeira extra), diminuindo a pressão sobre as instalações de manejo de resíduos sólidos operadas pelo titular do serviço.

Esse é um claro exemplo de como uma política pública, por meio de uma lei de grandes geradores, pode induzir positivamente a adequada destinação dos resíduos sólidos nos municípios brasileiros, alertando para a necessidade de que estes estabeleçam legislações locais para definir parâmetros e condições de manejo de resíduos sólidos em relação aos grandes geradores.

Esse projeto se enquadra nos sistemas extensivos de compostagem, onde é adotado o método de Leiras Estáticas com Aeração Passiva (Método UFSC).

⁴ Maiores informações: <https://pt-br.facebook.com/instituto.ecozinha.df/>.



Fotografia: Cássio Araújo.

Figura 8. Pátio de compostagem do Instituto Ecozinha, em Brasília (DF).

Compostagem industrial: Composul

À luz do princípio da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, bem como da necessidade de reciclagem da fração orgânica dos resíduos preconizada na PNRS, algumas empresas vêm atuando em nichos de mercado voltados ao desenvolvimento de tecnologias de reciclagem. Dentre estas, a Composul, sediada no município de Içara, em Santa Catarina, que é especializada na coleta mecanizada dos resíduos orgânicos segregados na origem, tratando-os por meio de tecnologia de compostagem que se utiliza de sistema de membranas semipermeáveis.⁵

Este processo, comum em escala industrial, trata-se de leiras envelopadas com membranas semipermeáveis e aeradas por aeração forçada, de forma controlada, que permite a aceleração da decomposição da matéria orgânica e uma maior eficiência no controle de odores, efluentes e vetores. A membrana semipermeável permite que alguns gases gerados no processo de compostagem fluam para fora da leira, e não permite a entrada de água da chuva.

Esse projeto se enquadra nos sistemas intensivos de compostagem, onde é adotado o Sistema de Compostagem em Leira Envelopada.

⁵ Maiores informações: <http://composul.com/inicio/>.



Fotografia: Caroline Pertussatti

Figura 9. Leira de compostagem da Composul, em Florianópolis (SC).

Compostagem municipal: Feiras e Jardins Sustentáveis

Em 2015, entrou em operação no município de São Paulo o pátio de compostagem da Lapa, voltado para o tratamento de resíduos orgânicos (frutas, verduras e legumes) provenientes de 52 feiras livres da cidade e podas das árvores da região. Trata-se de uma ação da Prefeitura no âmbito do projeto-piloto Feiras e Jardins Sustentáveis, realizada pela Secretaria de Serviços por meio da Amlurb em parceria com a Prefeitura Regional da Lapa e a empresa Inova, responsável pelo serviço público de limpeza urbana nas regiões norte, oeste e central do município.⁶ O composto orgânico produzido vem sendo utilizado na manutenção de jardins e parques da cidade e no apoio aos agricultores familiares para a produção de alimentos orgânicos.

Tendo em vista que foi implantado no âmbito de um projeto piloto, o pátio da Lapa foi concebido para servir de referência para outros pátios e centrais de compostagem que a Prefeitura de São Paulo pretende implantar no município, de modo a demonstrar a viabilidade e as vantagens do tratamento descentralizado dos resíduos orgânicos. Em setembro de 2018, foi inaugurado o segundo pátio, na Sé, com o mesmo objetivo.

A compostagem municipal representa um ganho de escala no tratamento do resíduo orgânico, desempenhando papel crucial na redução dos resíduos dispostos em aterros sanitários ao destinar a fração orgânica dos resíduos para tratamento em pátios descentralizados, distribuídos nas proximidades dos núcleos geradores. Esse processo possibilita otimizar a logística e as rotas de transporte, permite o tratamento dos resíduos orgânicos e o fechamento do ciclo da matéria orgânica localmente, além de aumentar a vida útil dos aterros. Nesta perspectiva, a compostagem representa uma valiosa tecnologia de baixo custo com significativos impactos positivos diretos e indiretos para a gestão local de resíduos sólidos.

Esse projeto se enquadra nos sistemas extensivos de compostagem, onde é adotado o método de Leiras Estáticas com Aeração Passiva (Método UFSC).

⁶ Maiores informações: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/se/noticias/?p=87300> e <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/lapa/noticias/?p=63009>



Fotografia: Lúcio Costa

Figura 10. Leira de compostagem em escala municipal, Pátio da Lapa, em São Paulo (SP).

Compostagem de orgânicos domiciliares: coleta indiferenciada

O município de São José do Rio Preto foi precursor de uma nova fase da compostagem em larga escala no Brasil, tendo implementado em 1989 uma planta de tratamento mecânico-biológico para a valorização dos resíduos domiciliares coletados de forma indiferenciada.

Apesar de uma série de exemplos fomentados nas décadas de 80 e 90 que não obtiveram sucesso a partir dos orgânicos coletados de forma indiferenciada, esta planta, superou os desafios da coleta indiferenciada de resíduos domiciliares, e através de uma operação privada, pela empresa CONSTROESTE CONSTRUTORA E PARTICIPAÇÕES LTDA, obteve em 2016 o registro de suas atividades do MAPA sob o nº EP-SP-80909-8, para estabelecimento produtor de fertilizante orgânico IG-composto, com validade até 08.03.2021.

A instalação representa uma referência no Estado de São Paulo tendo obtido em 2017 qualificação 10,00 no Índice de Qualidade de Usinas de Compostagem (IQC) realizado pela CETESB.

A planta ocupa quase 60.000 m² de terreno, sendo 13.585 m² de área construída, recebendo cerca de 400 toneladas por dia de resíduos domiciliares oriundos da cidade de São José do Rio Preto, podendo ser enquadrado como um sistema extensivo de compostagem, que ocorre através de revolvimento de leiras em pátio coberto. Em seu fluxo operacional seleciona cerca de 40 toneladas por dia de recicláveis e produz 60 toneladas por dia de composto que é direcionado para agricultura de seringueiras, bananas, cana-de-açúcar, uva, entre outras.

Segundo a licença ambiental nº 14007323, a planta é composta dos seguintes equipamentos: Peneira rotativa (Qtde: 3); Silo de armazenagem (Qtde: 2); Peneira de separação (Qtde: 2); Compressor de ar (Qtde: 1); Esteira transportadora (Qtde: 10); Esteira transportadora (Qtde: 7); Máq solda a ponto (Qtde: 1); Pá mecânica carregad/pá carreg (Qtde: 2); Dosador / guincho (Qtde: 1); Moega / talisca (Qtde: 2); Moega / talisca (Qtde: 1); Prensas (Qtde: 4) e Guincho dosador (Qtde: 1)

A compostagem de resíduos orgânicos captados pela coleta indiferenciada é exequível, contudo repleta de desafios que abarcam desde um esforço maior de maquinários até maior capacidade técnica para garantir a qualidade do subproduto. Pode ser apontada como vantagem estratégica

sua capacidade de operar em larga escala, contudo esta intervenção não afasta o esforço para introduzir paralelamente ações que privilegiem os orgânicos segregados na fonte.



Fotografia: Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de São José do Rio Preto.
Figura 11. Pátio de Compostagem, em São José do Rio Preto (SP).

2.3 Biodigestão anaeróbia

Biodigestão anaeróbia institucional: PMethar

Desde 2013, opera no *campus* da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) um sistema de biodigestão anaeróbia com geração de energia e biogás a partir resíduos orgânicos do maior restaurante universitário local (Restaurante Universitário II), popularmente conhecido por Bandeirão.⁷ Desenvolvida pelo Departamento de Engenharia Sanitária da UFMG em parceria com a empresa de desenvolvimento tecnológico Methanum Energia e Resíduos e com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) e do Ministério das Cidades (MCidades), a tecnologia tem capacidade de tratamento de 1 tonelada de resíduos orgânicos segregados por dia. Antes destinado a aterros sanitários, o resíduo é agora transformado em água de reúso, composto sólido, composto líquido e energia elétrica. O biogás é condicionado para ser utilizado para produção de energia em um gerador desenvolvido na própria universidade. Os compostos sólidos e líquidos são empregados na manutenção de áreas verdes do *campus*, e a água de reúso é utilizada para a umidificação do resíduo e/ou irrigação.

Os resíduos são transportados por bombonas de 200 litros, onde são vertidos em uma mesa classificadora para remoção de possíveis impurezas (talheres, copos plásticos etc.). Em seguida, são triturados e misturados com água de reúso até atingirem a composição adequada para introdução no sistema de reação. No sistema de biodigestão anaeróbia, o resíduo é convertido em biogás e composto líquido. O composto líquido pode ser destinado a um reator do

⁷ Maiores informações: <https://www.youtube.com/watch?v=qrlRwVF8Nlw>

tipo UASB para garantir qualidades de água de reúso, passar por um processo de desidratação ou simplesmente ser utilizado nas áreas verdes.

Um dos principais objetivos deste projeto é a capacitação de profissionais, sendo realizadas diversas teses de doutorado, dissertações de mestrado e trabalhos de qualificação de curso sobre o tema. O projeto acaba funcionando como uma plataforma de desenvolvimento de capacidades locais, seja focada na geração de composto (sólido e líquido), seja na geração de energia, condicionamento do biogás, microbiologia e biologia molecular, entre outros.



Fotografia: Thiago Colturato.
Figura 12. Vista Geral da PMethar

Biodigestão anaeróbia institucional: CMethar

Em 2018, foi inaugurada no município de Bertioga (SP), na baixada santista, a primeira planta de biodigestão anaeróbia em contêineres do Brasil. Trata-se de uma tecnologia desenvolvida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo (IPT) e pela empresa Methanum Energia e Resíduos, em parceria com a Prefeitura do Município de Bertioga. Com o objetivo de identificar soluções para a gestão de resíduos nos municípios, a Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Inovação do Estado de São Paulo e o IPT desenvolveram o projeto ReCiclos, onde estão sendo avaliados os resultados de diferentes tecnologias: sistema de coleta de resíduos em três frações (recicláveis, orgânicos e rejeitos); sistema de triagem semimecanizado; sistema de biodigestão anaeróbia da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos; e sistema de tratamento térmico de rejeitos.

Com capacidade de tratamento de 120 toneladas por mês, o sistema implementado utiliza da tecnologia extrasseca de biodigestão anaeróbia, que basicamente consiste em um sistema de bateladas sequenciais. Nesse sistema, a fração orgânica dos resíduos é introduzida nos contêineres, onde permanece por aproximadamente 30 dias sendo inoculada por um consórcio microbiano selecionado, proveniente de uma unidade de produção de inóculo. Essa recirculação ocorre em sistema fechado, sendo o lixiviado utilizado como fonte de alimentação dos microrganismos. O biogás produzido destina-se à geração de energia elétrica e térmica: a energia elétrica é enviada à rede e a térmica é utilizada para aquecimento do sistema biológico. O composto orgânico é gerado apenas na fase sólida, sendo peneirado e utilizado pela prefeitura.

São utilizados resíduos segregados na origem provenientes de grandes geradores (tais como hotéis, supermercados e restaurantes), bem como resíduos provenientes da unidade de triagem semimecanizada operada pela Cooperativa de Bertioga.

Um dos grandes diferenciais desta tecnologia é a não geração de composto líquido (pois grandes quantidades podem inviabilizar sua utilização) e a possibilidade de operar com

impróprios, que são removidos no final do processo, quando o resíduo já se encontra estabilizado e com um menor teor de umidade, facilitando sua separação.

O processo é monitorado por meio de um sistema de automação, aumentando a confiabilidade e segurança do sistema.



Fotografia: Felipe Gomes

Figura 13. Sistema de metanização de Bertioga (SP).

Biodigestão anaeróbia municipal: TMethar – Usina de Biogás do Caju

Em 2018, entrou em operação a primeira usina da América Latina de biometanização extrasseca, operada exclusivamente com resíduos sólidos urbanos. A tecnologia foi desenvolvida pela empresa Methanum e pela UFMG, em parceria com a Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro (Comlurb), com financiamento do Fundo Tecnológico do BNDES.

A Usina de Biogás do Caju está localizada no EcoParque do Caju e possui capacidade para receber entre 35 e 50 toneladas de resíduo por dia e potencial de geração de 7.200 kWh por dia de energia. A unidade corrobora com a iniciativa da Comlurb para reduzir a quantidade de resíduos orgânicos destinados à Central de Tratamento de Resíduos (CTR Rio), em Seropédica, aumentando sua vida útil e diminuindo a geração de chorume e as emissões de GEE naquele aterro.

Trata-se de um sistema nacional de biodigestão anaeróbia via extrasseca, denominado túneis de biodigestão anaeróbia. A usina é constituída por 7 túneis com capacidade de acondicionamento de até 1.400 toneladas de resíduos. O sistema opera em bateladas sequenciais, sendo o tempo de permanência nos túneis de aproximadamente 30 dias.

A grande vantagem dos sistemas extrassecos em túneis é a não geração de excedente de líquidos; além disso, eles exigem menor investimento inicial e menor custo operacional e possibilitam uma operação mais simples e mais adequada aos municípios brasileiros.

O biogás gerado é transformado em energia elétrica e térmica, sendo a energia elétrica utilizada no próprio EcoParque do Caju, e a energia térmica, na secagem do material e manutenção da temperatura do sistema biológico. O composto produzido pode ser utilizado na agricultura ou em reflorestamento.

Estão sendo testadas misturas da fração orgânica de grandes geradores com poda triturada, de forma a avaliar a codigestão desses materiais.

Esse é um projeto-piloto com grande potencial de crescimento para gerar expressiva economia de espaço na CTR Rio e de valorização energética do material orgânico. A planta de biodigestão anaeróbia auxilia no cumprimento das metas estabelecidas no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, previsto no Plano Estratégico 2017-2020, de reduzir em até 25% a quantidade de resíduos encaminhada à CTR Rio.

O projeto é um marco no desenvolvimento tecnológico nacional, sendo esta usina a instalação de maior capacidade, com tecnologia 100% nacional, a operar no Brasil.

Concorrendo com diversos países, o Rio de Janeiro ganhou com este projeto o prêmio na categoria Resíduos Sólidos Urbanos concedido pelo Grupo de Liderança Climática de Cidades C40. A entrega ocorreu no Encontro Mundial de Prefeitos (*Mayors Summit*) 2016, na Cidade do México. O Rio de Janeiro foi a única cidade em um país em desenvolvimento que obteve o título naquele ano. As outras categorias foram Água, Transporte e Energia Renovável, concedidos a Melbourne, Seattle e Sydney, respectivamente.



Fotografia: Tathiana Seraval.
Figura 14. Usina de Biogás do Caju.

Biodigestão anaeróbia empresarial: Codigestão de lodo e resíduos orgânicos

A primeira planta de tratamento conjunto de lodo de esgoto e de resíduos sólidos urbanos orgânicos no Brasil está localizada em Curitiba (PR), ao lado da Estação de Tratamento de Esgoto Belém, uma das maiores do estado do Paraná, e entrou em operação em janeiro de 2018. Implantada pela CS Bioenergia, prestadora de serviço no ramo de energias renováveis cuja estrutura societária é constituída pela Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) e Cattalini Bioenergia, a planta tem capacidade para tratar até 900 m³/d de lodo de esgoto provenientes da ETE Belém e até 300 t/d de resíduos orgânicos classe 2 de grandes geradores, provenientes do CEASA, restaurantes e outras fontes de grandes geradores.

O resíduo orgânico é despejado no tanque de recepção, enquanto a separação dos orgânicos a partir dos sólidos não orgânicos é feita através de um biosseparador. O resíduo orgânico é transportado diretamente para o tanque do separador. A água do processo é

bombeada para os biosseparadores de forma a produzir uma pasta uniforme. A polpa (orgânicos) é bombeada, após a separação para um dos tanques de recepção. O lodo ativo da estação de tratamento, após passar por uma centrífuga, é bombeado diretamente para os tanques de recepção, sendo misturado aos resíduos orgânicos.

A tecnologia utilizada é a codigestão úmida da empresa austríaca AAT Biogas Technology. São dois reatores de 5.000 m³ e um pós-digestor de 3.400 m³.

O biogás é armazenado em um gasômetro, sendo posteriormente purificado e enviado para grupos motogeradores, onde a combustão aciona geradores de eletricidade. A capacidade instalada da usina é de 2,8 MW, o suficiente para abastecer 2.000 casas populares. O calor gerado no processo é aproveitado para aquecer os biodigestores e assim favorecer a produção de biogás. Ao final, ainda é possível a produção de composto sólido a partir dos resíduos remanescentes do processo de biodigestão.



Fonte: site AAT Biogas Technology.

Figura 15. CS Bioenergia.

2.4 Reciclagem de podas e galhadas municipal

Comlurb

A Comlurb iniciou em agosto de 2018, no EcoParque do Caju, um equipamento para aproveitamento de biomassa dos resíduos de poda que recebeu como doação da cidade de Colônia, na Alemanha, por meio do Ministério Federal da Cooperação Econômica e do Desenvolvimento. O novo maquinário realiza a fragmentação e o peneiramento dos restos de poda da Comlurb. O material final é transformado em adubo orgânico para ser utilizado no reflorestamento de encostas, e na valorização energética.

O sistema tem por objetivo contribuir para atingir as metas estabelecidas no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, previsto no Plano Estratégico 2017-2020, de reduzir em até 25% a quantidade de resíduos encaminhada para a CTR Rio.

O equipamento, que é móvel, é composto de duas partes, fragmentação e peneiramento, sendo que a parte de fragmentação tem 38 lâminas e capacidade para processar até 15 toneladas de resíduos de poda por dia. A capacidade é inclusive superior à produção de corte de árvores na cidade e poderá atender também à demanda de resíduos verdes de outros municípios da Baixada Fluminense e de São Gonçalo.



Fotografia: José Henrique Penido
Figura 16. Sistema de trituração de poda.

2.5 Programas do governo federal de valorização dos orgânicos

Entre as ações recentes do governo federal para a valorização dos orgânicos, destaca-se o lançamento, em setembro de 2017, pelo MMA, por meio do Fundo Nacional do Meio Ambiente, em parceria com o Fundo Socioambiental da Caixa Econômica Federal, do Edital FNMA/FSA nº 01/2017 para apoio a projetos de compostagem. O edital teve como foco a seleção de projetos demonstrativos e inovadores de compostagem com segregação dos resíduos na fonte geradora, integrados à reciclagem da fração orgânica de resíduos sólidos, em municípios ou consórcios públicos intermunicipais com atuação na gestão de resíduos sólidos.

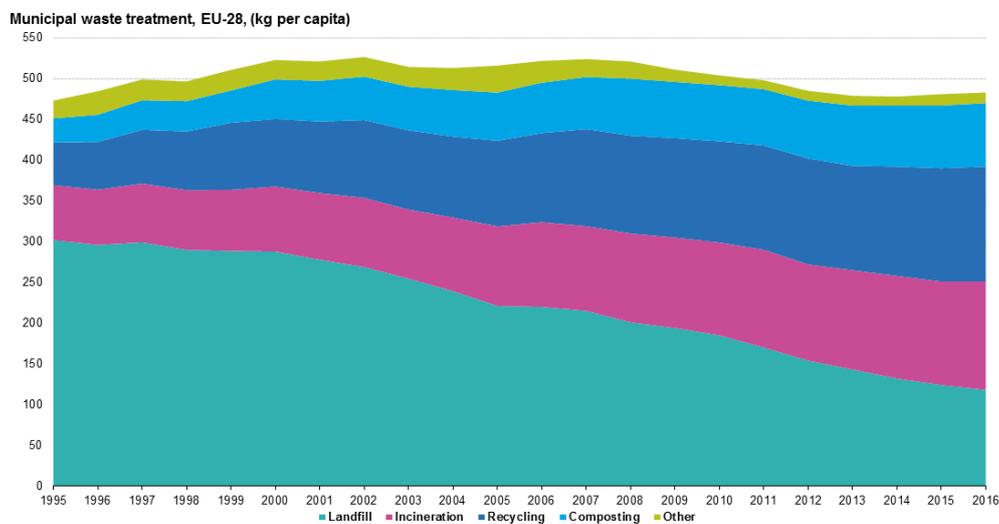
Das 324 propostas recebidas, foram selecionadas 12, para as quais foi destinado um total de R\$ 10 milhões, de modo que os valores para cada projeto variam entre R\$ 500 mil e R\$ 1 milhão. Os projetos selecionados estão sendo executados pelas prefeituras de Florianópolis (SC), Lages (SC), Rancho Queimado (SC), Herval (RS), Palotina (PR), Sertãozinho (SP), Santos (SP), Igarapé (MG), Tacuru (MS), Maracaju (MS) e Marabá (PA) e pelo consórcio Nascentes do Pantanal (MT).

As ações viabilizadas no âmbito deste edital estão contribuindo para a estruturação de uma base mais sólida de conhecimentos e dados em torno da reciclagem da fração orgânica de resíduos sólidos, tendo a segregação na fonte geradora como premissa básica. Isso enriquecerá o debate no país em torno da busca por soluções para a gestão descentralizada e não convencional desta fração dos resíduos.

2.6 Gestão de resíduos orgânicos no mundo

A valorização da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos vem sendo adotada em políticas públicas de gestão de resíduos sólidos em diversos países. Trata-se de um novo paradigma para a gestão ambientalmente adequada dos resíduos sólidos, mediante o aumento da reciclagem e a consequente redução do aterramento, o que reduz a pressão sobre o meio ambiente.

Esta tendência pode ser observada na evolução dos tipos de tratamento dos resíduos sólidos da União Europeia, apresentada na Figura 17, de 1995 a 2016. Houve uma redução da quantidade, em massa *per capita*, de resíduos destinados a aterros sanitários (*landfill*) e um aumento da quantidade destinada para reciclagem e compostagem (*recycling e composting*).

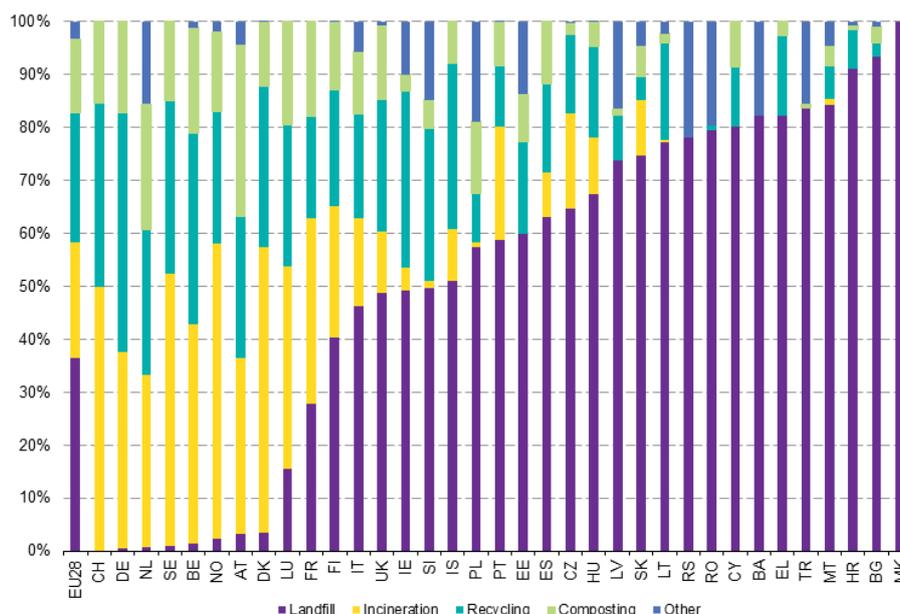


Fonte: EUROSTAT (2018).

Figura 17. Tratamento de resíduos sólidos urbanos na União Europeia, de 1995 a 2016 (kg per capita).

Observa-se, na Figura 18, que entre os países europeus mais desenvolvidos na temática, como Alemanha (DE), Holanda (NL) e Bélgica (BE), os principais tratamentos de resíduos sólidos urbanos são reciclagem (*recycling*) e compostagem (*composting*), restando uma parcela muito baixa para a disposição em aterros sanitários (*landfill*). Em alguns destes países, como a Alemanha, a valorização dos orgânicos envolveu a estruturação de um sólido arcabouço normativo relacionado, principalmente, à valorização dos resíduos antes de sua destinação final, com a atuação da sociedade na separação na origem.

Em outros países, como Bósnia Herzegovina (BA), Sérvia (RS) e Turquia (TR), há uma inversão na forma de destinação dos resíduos, marcada, predominantemente, pela destinação em aterros (80% ou mais).



Fonte: EUROSTAT (2014)

Figura 18. Resíduos sólidos urbanos tratados, em 2011, por país e por tipo de tratamento.

A realidade brasileira aponta para uma busca pela universalização de aterros sanitários como forma de eliminar as formas de disposição final inadequada em lixões, ainda muito presente no Brasil. Contudo, é essencial que políticas de redução, reciclagem e valorização dos orgânicos sejam estimuladas, principalmente para ampliar a vida útil dos aterros, haja vista a redução do envio dos resíduos orgânicos para estas unidades, que representam cerca de 50% dos resíduos sólidos urbanos, além de diminuir a necessidade de novas áreas para ampliação destes empreendimentos.

3. Ações e estratégias

As estratégias propostas por este caderno visam aumentar a valorização dos resíduos orgânicos no Brasil, alinhadas às metas para resíduos orgânicos propostas no caderno principal do Plansab. O acompanhamento destas ações será feito a partir do indicador principal e dos indicadores auxiliares, definidos nos próximos capítulos deste documento.

Dado o cenário atual de baixa valorização dos resíduos orgânicos no país, foram levantadas as causas e mudanças desejadas para então elaborar proposições para as estratégias de atuação da União, dos estados e dos municípios, uma vez que cada ator possui um papel diferente na gestão dos resíduos sólidos. Considerando isto, no Tabela 4 apresentam-se as causas da baixa valorização dos orgânicos no Brasil, sua natureza e a mudança almejada, resultando nas estratégias a serem adotadas pela União. Para os estados e municípios (Tabela 5 e 6, respectivamente), por terem papel implementador, foram definidas estratégias e ações que, apesar de não vinculadas a cada uma das causas identificadas, têm relação direta com elas.

Tabela 4. Estratégias para a valorização dos resíduos orgânicos pelo governo federal.

Causa	Natureza principal	Mudança almejada	Estratégias
Hábitos inadequados de descarte, higiene.	Cultural	Que a população/os grandes geradores assumam responsabilidade pela destinação dos resíduos, enxergando os resíduos orgânicos como parte do meio natural e fonte de fertilidade para os solos por meio de processos simples de reciclagem.	Apoio a projetos que mostrem a viabilidade da reciclagem dos resíduos orgânicos na escala doméstica, comunitária, institucional e municipal e sua integração com produção de alimentos e jardinagem.
Simbolismo (repulsa, associação com rejeitos, sujeira).	Cultural		
Dissociação entre a geração do resíduo e a responsabilidade por sua destinação adequada.	Cultural		
Desconhecimento e descrédito de soluções alternativas ou descentralizadas	Cultural		Ações voltadas à conscientização e sensibilização da sociedade para a temática.
Carência de informação sobre a gestão de resíduos orgânicos.	Técnica	Que os titulares e prestadores de serviços de manejo de resíduos sólidos e limpeza urbana considerem os resíduos orgânicos como materiais recicláveis, cuja destinação pode se dar tanto em nível doméstico quanto comunitário, institucional ou municipal. A conjugação destas alternativas é parte de seu dever institucional para atender ao requisito legal de dispor em aterros sanitários somente os rejeitos.	Melhoria do arcabouço legal para favorecer a reciclagem dos resíduos orgânicos.
Sistemas de descarte dos resíduos orgânicos misturados com os rejeitos.	Técnica		Apoio aos municípios para a promoção de ações de capacitação técnica e conscientização ambiental sobre os potenciais benefícios e a necessidade de valorização dos resíduos orgânicos como parte da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos.
Desconhecimento e descrédito de soluções alternativas ou descentralizadas; hegemonia no meio técnico de soluções centralizadas.	Técnica		
Paradigma do aterramento (solução mais comum, mais ofertada, facilmente passível de terceirização).	Política, econômica	Que haja integração de políticas públicas setoriais para que a reciclagem de resíduos orgânicos potencialize a agricultura agroecológica, a produção descentralizada de alimentos, a segurança alimentar, a biodiversidade urbana, o combate à desertificação, a redução da emissão de gases do efeito estufa e a inclusão social.	Integração das ações de reciclagem de resíduos orgânicos com políticas públicas correlatas, como programas habitacionais (Minha Casa, Minha Vida), segurança alimentar, apoio aos catadores e de mudanças climáticas.
Pressões exercidas pelo setor tradicional de resíduos, pressões por grandes obras.	Política, econômica		
Concentração de poder em sistemas centralizados.	Política, econômica		
Hegemonia dos fertilizantes minerais/pacote tecnológico do agronegócio.	Política, econômica		Criação de metas de redução da fração orgânica de resíduos destinadas à disposição final.

Tabela 5. Estratégias e ações para a valorização dos resíduos orgânicos pelo governo estadual.

Estratégias	Ações
Atuação no licenciamento ambiental de unidades de valorização de resíduos orgânicos, por meio da compostagem, considerando a Resolução Conama nº 481/2017, visando à segurança das unidades, à credibilidade e à ampliação dos sistemas.	Definir os limites de baixo impacto ambiental das unidades de valorização de resíduos orgânicos para isenção de licenciamento ambiental, conforme previsto no artigo 1º, parágrafo 2º, da Resolução Conama nº 481/2017.
Restrição da disposição de resíduos orgânicos em aterros sanitários.	Implantar e ampliar as unidades de valorização de resíduos orgânicos. Aprimorar o arcabouço legal para favorecer a reciclagem dos resíduos orgânicos.
Fortalecimento da capacidade institucional para a gestão dos resíduos sólidos urbanos.	Incentivar que a gestão dos resíduos orgânicos seja feita por meio de arranjos consorciados para o compartilhamento da gestão e prestação dos serviços.

Tabela 6. Estratégias e ações para a valorização dos resíduos orgânicos pelo governo municipal/consórcios públicos.

Estratégias	Ações
	Promover a compostagem e biodigestão anaeróbia como política pública.
Incentivo às diversas escalas de compostagem e biodigestão anaeróbia.	Promover a compostagem e/ou biodigestão descentralizada de resíduos de podas, galhadas e feiras. Definir parâmetros para a caracterização dos grandes geradores, por meio de lei específica.
Incentivo à segregação na fonte dos resíduos sólidos urbanos em três frações (orgânicos, recicláveis secos e rejeitos).	Implementar a coleta seletiva de orgânicos e de recicláveis secos.
Fortalecimento da capacidade institucional para a gestão dos resíduos sólidos urbanos.	Realizar a cobrança pelos serviços públicos de manejo de resíduos sólidos urbanos. Buscar atuação compartilhada, mediante interesse comum, para a valorização dos resíduos orgânicos junto a municípios limítrofes.

4. Meta

As metas foram definidas visando a um aumento gradual da valorização dos orgânicos nos municípios brasileiros. Tal visão está relacionada às causas da baixa valorização dos resíduos orgânicos no Brasil listadas na Tabela 7, principalmente no que diz respeito à necessidade de mudanças culturais da sociedade brasileira.

O Plansab prevê para 2033, um aumento do desvio de resíduos orgânicos da disposição final em aterros/lixões/vazadouros, representando 11% da massa total coletada de resíduos

domiciliares e públicos orgânicos no Brasil direcionados a unidades de processamento, estabelecendo também uma meta intermediária proporcional em 2023, conforme descrito na Tabela 7.

Tabela 7. Manejo de resíduos sólidos urbanos orgânicos: situação atual (2016) por região e metas para 2023 e 2033 (%).

Meta	BRASIL	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	Fonte de informação
Atual (2016)	0,29	0.09%	0.00%	0.19%	0.19%	2.20%	SNIS
2023	3	2.0	1.9	3.5	3.5	3.6	SNIS
2033	11	7.6	7.3	13.0	13.0	13.6	SNIS

Os valores meta apresentados na Tabela 7 são calculados pela relação entre a massa de resíduos domiciliares e públicos orgânicos encaminhados para unidades de processamento (unidades de compostagem, biodigestão anaeróbia, tratamento mecânico-biológico) em relação a massa total de resíduos sólidos urbanos coletada.

Visando monitorar as ações de valorização dos orgânicos, sugere-se indicadores auxiliares ao indicador principal do Plansab, denominado de “Desvio de Resíduos Urbanos Orgânicos da disposição final em aterros/lixões/vazadouros”. Os auxiliares propostos são descritos no Tabela 8.

Tabela 8. Indicadores auxiliares para a qualificação das informações sobre resíduos orgânicos.

1	Representatividade da coleta seletiva de resíduos orgânicos	Massa (t) de resíduos orgânicos coletados seletivamente divididos pela massa total de resíduos domiciliares e públicos coletada pelo município ⁽¹⁾ .
2	Eficiência da coleta seletiva de orgânico	<p>Massa (t) de resíduos inertes (vidros, plásticos, metais e pedras) proveniente da coleta seletiva de orgânicos dividido pela massa de resíduos orgânicos coletada seletivamente</p> <p>Cálculo do Indicador⁽²⁾:</p> $1 - \frac{\text{massa de resíduos inertes (t)}}{\text{massa de resíduos orgânicos coletada seletivamente (t)}}$
3	Aplicação do composto	<p>Massa (t) do composto aplicado^{(3)**} dividido pela massa de resíduos orgânicos encaminhados para unidades de processamento.</p> <p>**Entende-se como composto aplicado, aquele destinado a usos diversos e aplicações seguras em conformidade com o estabelecido em legislação específica, que não a disposição final em aterros sanitários.</p>

⁽¹⁾Fonte de dados: Planos de Resíduos Sólidos IBGE-Censo SNIS.

⁽²⁾Fonte de dados: SNIS Planos de Resíduos Sólidos Dados locais.

⁽³⁾Entende-se como composto aplicado, aquele destinado a usos diversos e aplicações seguras em conformidade com o estabelecido em legislação específica, que não a disposição final em aterros sanitários.

Para conhecer de forma mais aprofundada a realidade do país em torno da geração e destinação da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, visando ao aprimoramento de políticas públicas e ações voltadas à melhoria da gestão dos resíduos sólidos, um passo fundamental é a produção de dados e informações sobre os resíduos orgânicos.

Por fim, a gestão diferenciada dos resíduos orgânicos se mostra como uma quebra de paradigma de grande oportunidade de mercado, redução de emissões, fortalecimento de cadeias locais e acima de tudo, de promoção de uma melhoria significativa da gestão de resíduos sólidos urbanos no país que impacta positivamente e diretamente na saúde pública e na qualidade de vida nas cidades.

Referências Bibliográficas

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Resolução normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Brasília: *Diário Oficial da União*, 2 fev. 2015.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Resolução nº 8, de 30 de janeiro de 2015**. Estabelece a especificação do biometano contida no Regulamento Técnico ANP nº 1/2015, parte integrante desta Resolução. Brasília: *Diário Oficial da União*, 2 fev. 2015.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Resolução nº 685, de 29 junho de 2017**. Estabelece as regras para aprovação do controle da qualidade e a especificação do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais a ser comercializado em todo o território nacional. Brasília: *Diário Oficial da União*, 30 jun. 2017.

BRASIL. Minas Gerais. Secretaria de Estado de Fazenda. **Lei nº 20.824, de 31 de julho de 2013**. Altera as Leis nºs 6.763, de 26 de dezembro de 1975, 14.937, de 23 de dezembro de 2003, e 14.941, de 29 de dezembro de 2003, revoga dispositivo da Lei nº 15.424, de 30 de dezembro de 2004, concede incentivo a projetos esportivos e dá outras providências. Minas Gerais: *Diário do Executivo*, 1 ago. 2013, p. 1 col. 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA). **Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009**. Brasília: *Diário Oficial da União - Seção 1*. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-25-de-23-7-2009-fertilizantes-organicos.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA). **Instrução Normativa nº 27, de 5 de junho de 2006**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-sda-27-de-05-06-2006-alterada-pela-in-sda-07-de-12-4-16-republicada-em-2-5-16.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2018.

BRASIL. Ministério da Fazenda. Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ). **Convênio ICMS nº 112, de 11 de outubro de 2013**. Autoriza a concessão de redução de base de cálculo do ICMS nas saídas internas de biogás e biometano. Brasília: *Diário Oficial da União*, 18 out. 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 481, de 3 de outubro de 2017**. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. 2017. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=728>>. Acesso em: 19 out. 2018.

BRASIL. Paraná. Conselho Estadual do Meio Ambiente do Paraná (CEMA). **Resolução nº 90, de 3 de dezembro de 2013**. Estabelece condições, critérios e dá outras providências, para empreendimentos de compostagem de resíduos sólidos de origem urbana e de grandes geradores e para o uso do composto gerado. Paraná: *Diário Oficial nº 9.130*, 22 jan. 2014. Disponível em: <<http://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/listarAtoAno.do?action=exibir&codAto=128402&indice=1&totalRegistros=7&anoSpan=2014&anoSelecionado=2013&mesSelecionado=0&isPaginado=true>>. Acesso em: 19 out. 2018.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: *Legislação republicana brasileira*, 2010a.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017**. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Brasília: *Diário Oficial da União*, 27 dez. 2017.

BRASIL. Rio de Janeiro. **Lei nº 6.361, de 18 de dezembro de 2012**. Dispõe sobre a Política Estadual de Gás Renovável. Rio de Janeiro: *Diário Oficial do Estado*, 26 out. 2018.

BRASIL. Santa Catarina. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. Conselho Estadual do Meio Ambiente de Santa Catarina (CONSEMA). **Resolução nº 98, de 5 de maio de 2017**. Santa Catarina: *Diário Oficial – SC*, 6 jul. 2017. Disponível em: <<http://www.sds.sc.gov.br/index.php/biblioteca/consema/legislacao/resolucoes/654--56/file>>. Acesso em: 19 out. 2018.

BRASIL. São Paulo. Assembleia Legislativa. **Decreto nº 59.038, de 3 abril de 2013**. Institui o Programa Paulista de Biocombustíveis e dá providências correlatas. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2013/decreto-59038-03.04.2013.html>>

BRASIL. São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SMA). **Resolução nº 102, de 20 de dezembro de 2012**. Dispõe sobre dispensa de licenciamento ambiental para as atividades de compostagem e vermicompostagem em instalações de pequeno porte, sob condições determinadas. São Paulo: *Diário Oficial do Estado*, 20 dez. 2012. Disponível em: <<http://arquivo.ambiente.sp.gov.br/legislacao/2013/07/Resolu%C3%A7%C3%A3o-SMA-102-2012-Processo-13803-2012-Regulamenta%C3%A7%C3%A3o-da-vermicompostagem-no-Estado-de-S%C3%A3o-Paulo-1.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2018.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Barreiras e propostas de soluções para o mercado de biogás no Brasil / Probiogás**; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ); autores, Oliver Jende ... [et al.]. 1ª edição. Brasília, DF: *Ministério das Cidades*, 2016. 74 p.: il. - (Desenvolvimento do mercado de biogás; 4)

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **O estado da arte da tecnologia de metanização seca / Probiogás**; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ); autor, Luis Felipe de Dornfeld Braga Colturato. 1ª

edição. Brasília, DF: *Ministério das Cidades*, 2015. 97 p.: il. – (Aproveitamento energético de biogás de resíduos sólidos urbanos; 1)

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Orientações para a importação de equipamento de biogás / Probiogás**; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ); autores, Oliver Jende ... [et al.]. 1ª edição. Brasília, DF: *Ministério das Cidades*, 2016. 77 p.: il. – (Desenvolvimento do mercado de biogás; 6)

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o Brasil: substratos, digestores e uso de biogás / Probiogás**; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ); autores, Oliver Jende ... [et al.]. 1ª edição. Brasília, DF: *Ministério das Cidades*, 2015. 83 p.: il. – (Desenvolvimento do mercado de biogás; 2)

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Viabilidade econômica de projetos de valorização integrada de RSU com produção de biogás / Probiogás**; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ); autores, Luis Felipe de D. B. Colturato ... [et al.]. Brasília, DF: *Ministério das Cidades*, 2016. 124 p.: il. – (Aproveitamento energético de biogás de resíduos sólidos urbanos; 2)

CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA. **Diretiva nº 31, de 26 de abril de 1999**. Relativa à disposição de resíduos em aterros. União Europeia: *Jornal Oficial*, nº 182, p. 1-19, 16 jul. 1999.

EUROSTAT. **Municipal waste treated in 2011 by country and treatment category sorted by percentage 2011**. 2014. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Municipal_waste_treated_in_2011_by_country_and_treatment_category_sorted_by_percentage_2011.PNG>. Acesso em: 10 out. 2018.

EUROSTAT. **Municipal waste treatment, EU-28, (kg per capita)**. 2018. Disponível em: <[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Municipal_waste_treatment,_EU-28,\(kg_per_capita\).png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Municipal_waste_treatment,_EU-28,(kg_per_capita).png)>. Acesso em: 10 out. 2018.

FAO/ONU. **Plataforma de boas práticas para o desenvolvimento sustentável**. Projeto de manejo de resíduos orgânicos do Sesc/SC. Disponível em: <<http://www.boaspraticas.org.br/index.php/pt/areas-tematicas/meio-ambiente/251-manejo-de-residuos-organicos>>. Acesso em: 19 out. 2018.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA E INOVAÇÃO DO ESTADO DE SANTA CATARINA (Fapesc). **Critérios técnicos para elaboração de projeto, operação e monitoramento de pátios de compostagem de pequeno porte**. Santa Catarina. Organizadores: Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo (Cepagro), Companhia de Melhoramentos da Capital (Comcap), Fundação do Meio Ambiente (Fatma) e Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), com apoio da Fapesc. 2017. 46 p.

INÁCIO, C. T. & MILLER, P. R. M. Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos. Rio de Janeiro/RJ. Embrapa Solos, 2009. 156p.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos 2016**. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos>>. Acesso em: 19 out. 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanco Energético Nacional 2018**. Rio de Janeiro, maio 2018. Disponível em: <<http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-397/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%202018-ab%202017vff.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Educared: práticas de educação ambiental e comunicação social em resíduos sólidos. **Projeto Revolução dos Baldinhos: Gestão Comunitária de Resíduos Orgânicos e Agricultura Urbana**. 29 ago. 2014. Disponível em: <<http://educared.mma.gov.br/index.php/reports/view/211>>. Acesso em: 19 out. 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CEPAGRO E SESC/SC. **Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos**: Manual de Orientação. Brasília, 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Fundo Nacional do Meio Ambiente e Fundo Socioambiental Caixa. **Edital FNMA/FSA nº 01/2017** - Apoio a Projetos de Compostagem. 2017. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80124/Edital_Compostagem_2017%20FINAL-RETIFICACAO%2004-10.pdf>.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Prefeitura inaugura central de compostagem para reciclar resíduos das feiras livres**. São Paulo, 16 dez. 2015. Disponível em: <<https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/lapa/noticias/?p=63009>>. Acesso em: 19 out. 2018.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. **São Paulo irá retirar mais de 2,8 mil toneladas de resíduos orgânicos de aterros sanitários**. São Paulo, 28 set. 2018. Disponível em: <<https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/se/noticias/?p=87300>>. Acesso em: 19 out. 2018.

ROMANO, H. M. **Viabilidade econômica da compostagem na CEASA/SJ**. Florianópolis-SC, UFSC, 2005. (Monografia de Especialização em Agrossistemas).

Sites consultados

COMPOSTA SÃO PAULO. Disponível em: <https://www.compostasaopaulo.eco.br/>. Acesso em: 19 out. 2018.

COMPOSUL. Disponível em: <http://composul.com/inicio/>. Acesso em: 19 out. 2018.

INSTITUTO ECOZINHA. Disponível em: <<https://www.facebook.com/instituto.ecozinha.df/>>. Acesso em: 19 out. 2018.