

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE MUNDO NOVO
TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

ROSANGELA APARECIDA DOS SANTOS

**PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO DE
COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS ORGÂNICOS: UMA
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Mundo Novo - MS

Dezembro/2020

ROSANGELA APARECIDA DOS SANTOS

**PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO DE
COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS ORGÂNICOS: UMA
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Tecnologia em Gestão Ambiental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Tecnólogo em Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Fleck

Coorientador: Prof. Dr. Jean Sérgio Rosset

Mundo Novo – MS

Dezembro/2020

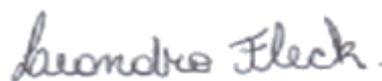
ROSANGELA APARECIDA DOS SANTOS

**PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO DE
COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS ORGÂNICOS: UMA
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Tecnologia em Gestão Ambiental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do grau Tecnólogo em Gestão Ambiental.

APROVADO EM 11 de dezembro de 2020

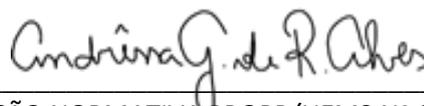
Participação remota por vídeo conferência
Prof. Dr. Leandro Fleck - Orientador - UEMS



Participação remota por vídeo conferência
Profa. Dra. Selene Cristina de Pierri Castilho - UEMS



Participação remota por vídeo conferência
Profa. Dra. Andrêssa Gomes de Rezende Alves- UEMS



** Participação por vídeo conferência de acordo com a INSTRUÇÃO NORMATIVA PROPP/UEMS Nº 001, de 07 de maio de 2019, Portaria UEMS N.º 018, de 16 de março de 2020 para enfrentamento à COVID – 19.*

*Dedico este trabalho a toda minha família e a
Deus.*

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida concedida. Aos meus pais que sempre estiveram do meu lado, sendo meu alicerce.

Ao meu esposo pelo incentivo, apoio e compreensão durante o meu percurso acadêmico, nunca me deixando desistir.

Aos meus filhos, Leandro Henrique, Jackson e Elves, que sempre me deram suporte para continuar, nos momentos em que achei que não conseguiria. Em especial ao meu filho Elves que foi essencial para que esse trabalho fosse concluído.

Agradeço ao meu orientador Dr. Leandro Fleck, por sempre estar presente para indicar a direção correta que o trabalho deveria tomar. As suas valiosas indicações fizeram toda a diferença. Também quero agradecer à Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS) e ao seu corpo docente que demonstraram estar comprometidos com a qualidade e excelência do ensino.

*“O sábio escutará e absorverá mais instrução, e
homem de entendimento é aquele que adquire
orientação perita”.*

Provérbios 1:5

RESUMO

O crescimento populacional alerta o mundo sobre a demanda de produção de alimentos, e consequentemente a geração de resíduos sólidos orgânicos. A disposição incorreta destes resíduos pode gerar prejuízos ao meio ambiente, tais como a geração de Gases do Efeito Estufa (GEE), poluição do solo e do lençol freático. Para amenizar tais impactos a compostagem é uma alternativa eficaz e sustentável, na qual é possível fazer o tratamento biológico, tendo como resultado a transformação de resíduos orgânicos em um fertilizante estável. O trabalho teve como objetivo apresentar uma revisão bibliográfica sobre os princípios fundamentais da compostagem de resíduos orgânicos. Para a realização deste trabalho realizou-se uma Revisão Integrativa da Literatura, abordando como tema central a compostagem de resíduos orgânicos. A pesquisa teve caráter exploratório e abordagem qualitativa, tendo o recorte temporal a partir do ano de 1980 até 2020. Relatou-se que no ano de 2018 foram gerados 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos, sendo 51,4% orgânicos, os quais foram dispostos em lixões a céu aberto, aterros sanitários ou aterros controlados. A ação biológica é algo que sempre ocorreu em condições naturais, através da decomposição pelos microrganismos, com isso, o ser humano passou a estudar este processo, tentando reproduzi-lo em condições controladas. O tratamento de resíduos sólidos orgânicos pode ser realizado de três formas, sendo: mecânico, térmico e biológico. A compostagem é um tratamento biológico, que depende de vários fatores, tais como: temperatura, pH, microrganismos, umidade, granulometria, relação C/N, dimensão da leira de compostagem e condições de aeração. Um composto pronto e de boa qualidade pode ser utilizado na produção de alimentos (leguminosas, grãos e árvores frutíferas), em ações de paisagismo (plantas ornamentais, parques e praças), reflorestamento de áreas degradadas, fornecimento de macro e micronutrientes a solos com déficit nutricional, exerce efeito tampão no solo, possibilita a cobertura de aterros, auxilia no controle de erosão, dentre outras utilidades. Diante desses fatores, é possível evidenciar a importância econômica e ambiental da aplicação da compostagem para o tratamento dos resíduos orgânicos.

Palavras-chave: Composto orgânico. Destinação de resíduos. Tratamento de resíduos orgânicos. Uso de resíduos.

SUMÁRIO

1. Introdução	8
2. Objetivos	9
2.1 Objetivos Gerais	9
2.2 Objetivos Específicos	10
3. Material e Métodos	10
4. Resultados e Discussão	11
4.1 Geração de resíduos sólidos	11
4.2 Histórico de tratamento dos resíduos sólidos orgânicos	12
4.3 Geração de resíduos orgânicos no Brasil	13
4.4 Processo de compostagem	15
4.5 Fatores controlados durante o processo de compostagem	16
4.6 Utilização do composto orgânico	19
4.7 Sistemas tradicionais e alternativos de compostagem	21
4.8 Trabalhos relacionados a compostagem de resíduos orgânicos	24
5. Considerações finais	26
Referências	27

1. INTRODUÇÃO

Dentre as problemáticas atuais relacionadas ao meio ambiente em destaque no mundo, um assunto muito abordado é a geração de resíduos sólidos (CARNEIRO, 2012). Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas, através da Norma Regularmentadora Brasileira (NBR) 10.004/2004, os resíduos sólidos são definidos como resíduos no estado sólido e semi-sólido resultantes de atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços e de varrição (ABNT, 2004).

Com o aumento populacional e a migração de pessoas para os centros urbanos, observa-se um aumento proporcional na geração de resíduos sólidos urbanos. Em 2018, foram gerados aproximadamente 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos no Brasil, um aumento de 1% em comparação com o ano anterior, sendo que deste montante gerado, 51,4% foram caracterizados como resíduos orgânicos (ABRELPE, 2019; SARMENTO et al., 2020).

Diretamente relacionado ao aumento da geração de resíduos, há uma intensa preocupação sobre o gerenciamento correto desses materiais, pois o descarte inadequado aumenta os gastos financeiros, resulta em graves impactos ao meio ambiente e, conseqüentemente, prejudica a saúde da população, afetando a sua qualidade de vida (SILVA et al., 2016). Segundo a ABRELPE (2019) e SNIS (2019), do total de resíduos gerados cerca de 92,01% é coletado, sendo a região sudeste a mais efetiva e a região nordeste a que menos coleta seus resíduos sólidos urbanos. Ainda em 2018, 59,5% dos resíduos gerados foram destinados de forma correta (em aterros sanitários), sendo o restante destinado em lixões a céu aberto ou aterros controlados, o que representa que 29,5 milhões de toneladas de resíduos foram destinados sem o devido controle dos impactos ambientais (ABRELPE, 2019).

Todo resíduo orgânico passa por alterações biológicas, que se trata da decomposição dos componentes orgânicos pelos microrganismos. Quando este processo ocorre em condições anaeróbias tem como consequência direta a geração de gás metano (CH_4), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x) e dióxido de carbono (CO_2). Já quando em decomposição aeróbia, o oxigênio proporciona o aumento da atividade biológica e também o controle da temperatura da leira. Quando os resíduos orgânicos são descartados de forma incorreta, em lixões ou aterros controlados, não há controle e tratamento de gases e chorume gerados pelo processo natural de decomposição, resultando em emissões de GEE, riscos de explosões e contaminação do ar e lençol freático (OLIVEIRA, 2019).

Diante dessa problemática uma das técnicas mais utilizadas (em pequena ou grande escala) para o tratamento de resíduos orgânicos é a compostagem, caracterizada por ser um processo de decomposição microbiana controlada, convencionalmente na presença de oxigênio, em que, ocorre a aceleração da decomposição através do revolvimento da matéria orgânica a fim de introduzir oxigênio para melhorar as condições operacionais das populações microbianas responsáveis pela oxidação biológica (CHAVES, 2017).

Dentre os benefícios oriundos do processo de compostagem podemos destacar a aplicação do composto no solo, a qual proporciona o fornecimento de macro e micronutrientes ao solo, como nitrogênio, fósforo, potássio, zinco e boro. A matéria orgânica melhora a estrutura física do solo, ampliando a capacidade de absorção e armazenamento de água e reduz a toxicidade por pesticidas e outras substâncias tóxicas. A forma e a quantidade de aplicação do composto dependerão principalmente do tipo de cultura, equipamentos disponíveis, características do solo e da quantidade de composto disponível. Em relação ao modo de aplicação do composto, este pode ser incorporado ao solo em covas ou sobre a cobertura vegetal (OLIVEIRA et al., 2004).

Segundo Trivella et al. (2016) a compostagem é uma grande aliada na recuperação de áreas degradadas, pois, a aplicação do composto além de trazer uma grande carga de nutrientes, auxilia na agregação do solo e proporciona condições para organismos edáficos, criando uma cadeia e teia alimentar.

Neste contexto, o presente estudo objetiva apresentar uma revisão bibliográfica sobre os princípios fundamentais da compostagem de resíduos orgânicos, abordando dentre outros assuntos: um panorama geral dos trabalhos já desenvolvidos no âmbito do tratamento aeróbio de resíduos orgânicos, principais fatores ambientais que limitam a eficiência do processo e técnicas de manejo utilizadas para garantir a qualidade do composto orgânico produzido.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Apresentar uma revisão bibliográfica sobre os princípios fundamentais da compostagem de resíduos orgânicos.

2.2 Objetivos Específicos

- Originar um documento conciso que possa ser utilizado como base para o desenvolvimento prático de trabalhos que objetivem a compostagem de resíduos orgânicos.
- Apresentar os principais fatores ambientais que influenciam no processo de compostagem.
- Apresentar as principais técnicas de manejo de resíduos aplicadas ao processo de compostagem.
- Evidenciar a qualidade e possível utilização do composto orgânico produzido.
- Apresentar o estado do conhecimento referente aos trabalhos de compostagem desenvolvidos nacional e internacionalmente.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do presente trabalho utilizou-se como método principal a Revisão Integrativa da Literatura, a qual consiste na síntese do conhecimento e na incorporação da aplicabilidade de estudos significativos de modo prático (SOUZA et al., 2010), reunindo e resumindo o conhecimento científico já produzido pela comunidade acadêmica sobre o tema investigado, a compostagem de resíduos orgânicos. Assim, a presente pesquisa apresenta um caráter exploratório e a abordagem dos dados ocorreu de forma qualitativa.

O escopo do estudo abordou, dentre outros assuntos:

- a) Geração de resíduos sólidos.
- b) Histórico de tratamento dos resíduos sólidos orgânicos.
- c) Geração de resíduos orgânicos no Brasil.
- d) Descrição do processo de compostagem.
- e) Fatores ambientais controlados durante o processo de compostagem.
- f) Utilização do composto orgânico.
- g) Sistemas tradicionais e alternativos de compostagem.
- h) Trabalhos relacionados a compostagem de resíduos orgânicos.

A busca de informações ocorreu nas bases de dados multidisciplinares como, por exemplo, Web of Science, Scopus, Google Acadêmico e Scielo. As estratégias de busca de informações foram baseadas em suas combinações possíveis nas línguas portuguesa, inglesa e espanhola. O recorte temporal foi a partir do ano de 1980 até o ano de 2020, tendo em vista que

a compostagem historicamente vem se mostrando como uma técnica promissora ao tratamento de resíduos orgânicos, com evolução tecnológica e de eficiência ao longo dos anos.

Utilizou-se como critério de busca trabalhos que apresentam mais relevância ao tema abordado, sendo utilizadas palavras-chave (ou termos) que suprissem os objetivos do estudo, dentre as quais: compostagem de resíduos orgânicos, características técnicas do processo de compostagem, mecanização do processo de compostagem, qualidade do solo e manejo aplicado à compostagem. Como critério de exclusão foram avaliados trabalhos que se repetiam com o conteúdo obtido pelo trabalho de maior relevância, ou que não complementassem o conteúdo abordado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Geração de resíduos sólidos

A atual realidade mundial evidencia que, a cada ano, o espaço útil do nosso planeta fica menor, devido à grande quantidade de resíduos sólidos que são produzidos. Esse cenário é consequência do aumento significativo da população humana e do elevado consumismo. Diariamente produzimos enormes quantidades de resíduos, os quais, de forma generalizada, não são separados adequadamente, resultando em inúmeros impactos ambientais (SEIFFERT, 2000).

No ano de 2018, no Brasil foram produzidos cerca de 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos, uma média de 380 kg por pessoa, dos quais 92% foram coletados, mas apenas 59,1% foram dispostos em aterros sanitários (ABRELPE, 2019). É preocupante a porcentagem de resíduos que não são devidamente coletados. Em termos práticos, não se sabe oficialmente onde aproximadamente 8% dos resíduos produzidos são depositados. Diante desse cenário, entende-se que grande quantidade do lixo que é coletado é descarregado em lixões ou aterros que não contam com medidas necessárias para garantir a integridade do meio ambiente e da população local.

Com base na problemática dos resíduos sólidos, o Brasil publicou a Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Essa ferramenta legal é importante para o desenvolvimento sustentável, em que, o Governo Federal juntamente com os Estados, Distrito Federal, Municípios e sociedade civil possuem contínua responsabilidade compartilhada pela correta gestão dos resíduos sólidos produzidos, sob risco de sofrerem penalidades em casos de não cumprimento das premissas da legislação ambiental vigente (BRASIL, 2010).

É importante salientar que de todo o resíduo sólido urbano, grande parte é destinado de forma incorreta no ambiente como, por exemplo, os resíduos orgânicos que ficam acondicionados juntamente com materiais recicláveis, resultando na decomposição da matéria orgânica constituinte e, por consequência, produzindo chorume. As disposições inadequadas dos resíduos acarretam a proliferação de vetores, contaminação do solo, contaminação da água e emissões atmosféricas (CO₂, CH₄) (GUSI, 2018).

4.2 Histórico de tratamento dos resíduos sólidos orgânicos

O tratamento de resíduos sólidos orgânicos pode ser realizado de três formas, sendo: mecânico, térmico e biológico. O tratamento mecânico consiste na compactação ou a trituração dos resíduos. O tratamento térmico é feito através da queima do resíduo orgânico pelo método de incineração ou pirólise, tendo como resultado a redução do volume de resíduo, reaproveitamento energético, emissão de gases e materiais particulados e neutralização de bactérias (SANTOS, 2007).

A decomposição biológica é algo que sempre ocorreu em condições naturais, através da ação de microrganismos, consistindo basicamente na degradação da matéria orgânica. Facilmente podemos observar a efetividade do processo de degradação microbiológica da vegetação morta (folhas, restos de árvores, frutas, etc.), dejetos de animais (de diferentes origens) ou até mesmo a decomposição de animais mortos (FERNANDES, 1999). Com base nestas observações diárias, o homem passou a estudar este processo de decomposição natural, tentando reproduzi-lo em condições controladas, com o objetivo principal de recuperar as propriedades químicas de solos com deficiência nutricional, e também, auxiliar na melhoria das propriedades físicas do solo.

Há registros históricos de que os chineses foram os pioneiros em tratamento microbiológico de resíduos orgânicos, pois utilizam a técnica ao longo de milhares de anos através da prática de devolução de matéria orgânica ao solo, as quais geralmente são resultantes de restos de atividades agrícolas e outros subprodutos (FERNANDES, 1999). Em 1843, foi registrada uma patente em que evidenciava-se que o depósito de resíduos orgânicos em uma leira para a decomposição, com recirculação de lixiviados por cima da pilha para acelerar o processo, após 15 dias geraria como produto final um composto pronto para a utilização (HUGHES, 1980).

Segundo registros, o primeiro implemento de uma composteira em grande escala ocorreu na década de 1920 pelo governo Indiano. Para isso, durante seis meses, eram utilizados

como resíduos orgânicos fezes de animais e restos de vegetais, em leiras que atingiam elevadas temperaturas e eram revolvidas duas vezes durante esse período. A partir desse momento se observou vários outros estudos na literatura, sendo que após a década de 1960 já se observava diversos sistemas mecanizados de compostagem, os quais empregavam equipamentos bastante complexos, possibilitando até mesmo a produção de composto em escala industrial (FERNANDES, 1999). Desde então, a sociedade científica buscou a melhoria do processo através da pesquisa direcionada e estudos de casos que objetivam a otimização dos sistemas de degradação biológica de resíduos orgânicos.

No Brasil a prática de compostagem começou a ganhar força pelo do incentivo aos produtores rurais, principalmente através de ações do Instituto Agrônomo de Campinas no ano de 1888, sendo transmitido para a sociedade o conceito da produção de “estrumes nacionais” como alternativa ao uso de fertilizantes minerais, os quais eram em sua totalidade importados (DINIZ FILHO et al., 2007). Em 1996 já se conceituava a compostagem como o tratamento mais adequado de resíduos sólidos orgânicos. De acordo com a NBR 13.591, a compostagem é:

“Processo de decomposição biológica da fração orgânica biodegradável dos resíduos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições controladas de aerobiose e demais parâmetros, desenvolvido em duas etapas distintas: uma de degradação ativa e outra de maturação” (ABNT, 1996, p. 2).

Mais recentemente, conforme citado por Dores-Silva et al. (2013), em nível mundial dois processos biológicos complementares estão se destacando para o tratamento e estabilização de resíduos orgânicos para posterior utilização como adubo orgânico: a compostagem, realizada pela ação microbiológica, e a vermicompostagem, realizada pela ação conjunta entre minhocas e microrganismos.

4.3 Geração de resíduos orgânicos no Brasil

De acordo com Sarmiento et al. (2020), são encontrados diferentes métodos que objetivam avaliar a composição gravimétrica dos resíduos sólidos gerados no Brasil, podendo variar dependendo da região, porém, todos devem seguir os princípios da NBR 10007/2004. Na Tabela 1 é possível observar a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil, onde se destaca a elevada geração de resíduos orgânicos.

Tabela 1. Composição gravimétrica dos resíduos sólidos no Brasil, conforme a estimativa da PNRS.

Tipologia de Resíduo sólido	Percentual (%)	Quantidade atual (t/ano)
Material Reciclável	31,9	25.201.000
Metals	2,9	2.291.000
Papel	13,1	10.349.000
Plástico	13,5	10.665.000
Vidro	2,4	1.896.000
Matéria Orgânica	51,4	40.606.000
Outros	16,7	13.193.000
TOTAL	100%	79.000.000

Fonte: Sarmiento et al. (2012); ABLELPE (2019).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2018), os resíduos orgânicos são constituídos por rejeitos das atividades humanas de origem animal ou vegetal. Podem ter origem doméstica, urbana, agrícola ou agroindustrial, tendo como característica comum a biodegradabilidade.

Conforme dados apresentados na Tabela 1, no Brasil grande parcela dos resíduos sólidos urbanos gerados são caracterizados como orgânicos, representando aproximadamente 51,4%. Nesse contexto, no setor da agroindústria, é gerada grande quantidade de resíduos sólidos em toda a sua cadeia produtiva, dentre os quais, a grande maioria apresenta característica de biodegradabilidade, e apresentam propriedades físico-químicas conhecidas (CARNEIRO, 2016). A agroindústria produz grande parte de seus resíduos com características orgânicas, que são biodegradáveis, convertendo-se em material com grande quantidade de nutrientes reaproveitáveis. Quando não é possível esse aproveitamento, deve-se aplicar técnicas de tratamento para evitar impactos desses resíduos sobre o ecossistema (MATOS, 2005).

Segundo Carneiro (2012) alguns exemplos de resíduos sólidos agroindustriais são: os lodos das estações de tratamento de efluentes provenientes das indústrias, resíduos de abatedouros, bagaço de cana-de-açúcar, resto de culturas e hortaliças, tortas da produção de biodiesel, entre outras. Ou seja, a quantidade de matéria orgânica produzida tem um elevado potencial de reaproveitamento para diferentes fins, dentre os quais pode ser citada a produção de adubo orgânico através da técnica de compostagem.

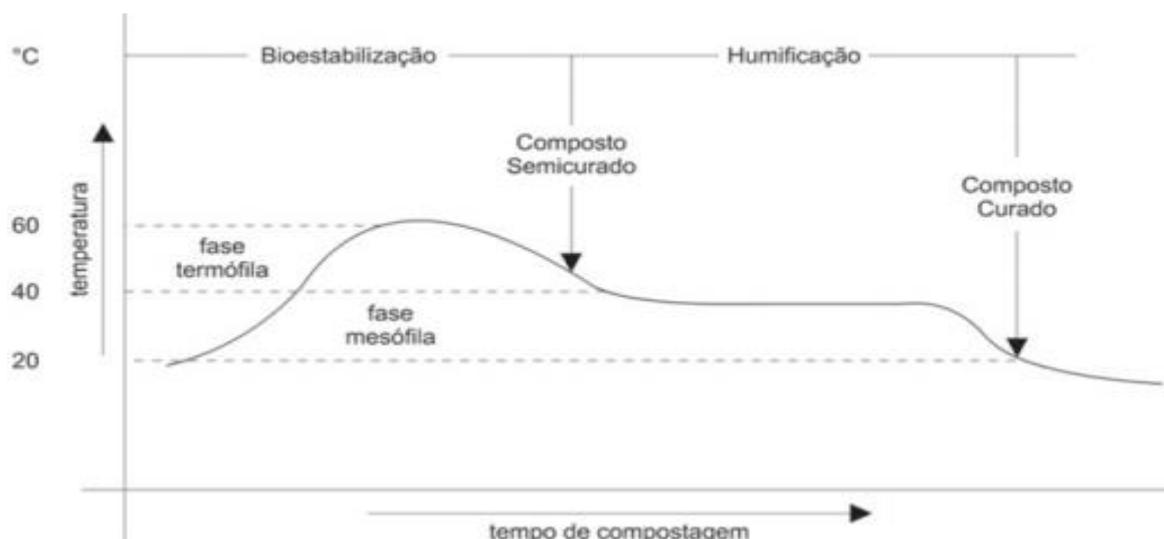
4.4 Processo de Compostagem

Uma das técnicas mais baratas e eficientes para o tratamento de resíduos orgânicos é a compostagem. Este processo tem como objetivo, obter de forma mais rápida e em condições controladas a estabilização da matéria orgânica, adicionalmente, gerando o aproveitamento dos elementos químicos nutricionais presentes nesses resíduos (PEREIRA NETO, 2014).

O processo de compostagem é dinâmico, constituído por três principais fases, sendo elas: fermentação, bioestabilização e humificação. A fermentação é a fase inicial do processo, responsável pela oxidação da matéria orgânica. A energia resultante do processo é liberada na forma de calor (até 70 °C), resultando na diminuição da porcentagem de umidade e volume inicial da massa de resíduos, o que ocorre principalmente pela quebra da cadeia carbônica de açúcar (NOGUERA, 2011).

A bioestabilização é presenciada após a fermentação, onde ocorre uma grande atividade microbiológica de bactérias (actinomicetes e gram positivas) e fungos. Nesta fase acontece o desprendimento de água, calor e gases como, por exemplo, o monóxido de carbono (CO) e o dióxido de carbono (CO₂) (NOGUERA, 2011). Segundo o mesmo autor, a fase de humificação (fase de maturação) corresponde a fase final do processo de compostagem, acompanhada da mineralização de determinados componentes da matéria orgânica. Na Figura 1 é apresentado resumidamente as diferentes etapas do processo de compostagem.

Figura 1. Síntese das fases do processo de compostagem.



Fonte: D'Almeida e Vilhena (2000).

Em média, após a mistura de resíduos orgânicos, o processo de compostagem dura entre 90 e 120 dias, dependendo das condições operacionais do sistema. Ao final do processo, caso esse tenha se desenvolvido satisfatoriamente, observa-se um composto escuro e de textura turfa, com possibilidade de aplicações agrícolas (OLIVEIRA et al., 2008).

4.5 Fatores ambientais controlados durante o processo de compostagem

Para que haja um composto de elevada qualidade e em menor tempo, são monitorados e ajustados diversos parâmetros físico-químicos. Segundo Araujo (2018), os principais fatores monitorados são: temperatura, aeração, umidade, relação carbono/nitrogênio (C/N), pH (potencial hidrogeniônico), granulometria do resíduo e microrganismos.

Neste mesmo contexto, Bidone e Povineli (1999) afirmam que a eficiência do processo de compostagem depende da ação e da interação dos microrganismos, ou seja, para ter um composto de qualidade é necessário fornecer aos microrganismos condições ambientais favoráveis como, por exemplo:

a) Relação C/N: A relação C/N ideal é importante para o processo de degradação da matéria orgânica e para o aproveitamento do composto pelas plantas. Segundo Chaves (2017), durante a decomposição da matéria orgânica, a relação C/N entre 25/1 e 30/1 representa um equilíbrio entre a liberação de nitrogênio e a captura pelos microrganismos presentes.

O C e o N são elementos constituintes das células microbianas, sendo encontrados nas mesmas em torno de 50% de C e 2 a 8% de N. O carbono apresenta três principais funções: constituir o material celular, possibilitar a fermentação e agir como partícula receptora para reações metabólicas (RUSSO, 2003). Adicionalmente, Ribeiro (2018) afirma que a relação C/N é de suma importância, sendo o C uma fonte de energia para os microrganismos e o N um componente essencial para sintetizar proteínas, limitando a atividade microbiológica na ausência de um desses elementos.

b) Aeração: No processo de compostagem a aeração é um fator de extrema importância (PEIXOTO, 1988), pois é o mecanismo responsável por evitar os altos valores de temperatura, possibilita o aumento da velocidade de oxidação e favorece a decomposição aeróbia, não liberando gás sulfídrico (ausência de odores). Adicionalmente, reduz o excesso de umidade de resíduos orgânicos em decomposição (PEREIRA NETO, 1994; KIEHL, 2004).

Para o controle da aeração são utilizados três métodos principais: esforço manual (revolvimento do composto, que promove a homogeneização dos resíduos), aeração forçada

(são colocados compressores e tubos de ar sob a leira através da insuflação de ar) e aeração passiva (ocorre pela variação de temperatura entre o ar da leira e o ambiente) (PEREIRA, 2010).

A aeração deve ser devidamente controlada, pois um suprimento excessivo de ar pode fazer com que a perda de calor seja maior que a produção de calor microbiano (LAU et al., 1992), além de aumentar a emissão de gases do efeito estufa (amônia e óxido nitroso) (KADER et al., 2007).

c) pH: Durante o processo de compostagem ocorre a oscilação do pH da massa de resíduos que está sendo biodegradada. No início do processo o pH se torna mais ácido (entre 5 e 6) devido a formação de ácidos minerais e gás carbônico (pH onde as bactérias acidófilas são adaptadas, resultando em uma menor variedade microbológica). Adicionalmente, segundo Russo (2003) o pH no início da compostagem se torna ácido devido a altas temperaturas, que resultam na perda de nitrogênio por volatilização da amônia. Logo, estes ácidos desaparecem, e, em seguida, são produzidos ácidos orgânicos que reagem com as bases liberadas pela matéria orgânica, tornando a massa de resíduos, levemente alcalina (pH entre 8 e 8,5) (REIS, 2005).

Nesse mesmo contexto, Maragno et al. (2007) corroboram ao afirmarem que o pH afeta diretamente a eficiência do sistema de compostagem. No início do processo de decomposição, observa-se uma fase fitotóxica devido a formação de ácidos orgânicos, os quais reagem com bases liberadas da matéria orgânica, dando origem a compostos de reação alcalina. Adicionalmente, a formação de ácidos húmicos gera humatos alcalinos, possibilitando que o pH do composto se eleve à medida que o processo se desenvolve, alcançando pH superior a 8.

d) Temperatura: A temperatura durante o processo de compostagem se eleva devido a liberação de calor durante a degradação do material orgânico. As três fases da compostagem são: mesofílica (entre 20 e 45 °C), termofílica (entre 45 e 65 °C) e maturação, fase na qual a matéria orgânica está estabilizada permanecendo na temperatura ambiente (TEIXEIRA et al., 2004; SCHALCH et al., 2015).

e) Estrutura: os resíduos devem passar por uma modificação em sua granulometria para serem integrados nas leiras de compostagem. Em geral, o tamanho das partículas deve ser controlado, a fim de favorecer a homogeneização da leira, melhorar a porosidade, garantir maior aeração e reduzir o tempo de compostagem. Resíduos com partículas grandes acomodam-se de forma a permitir maior formação de espaços entre eles, dificultando a retenção de água. Já resíduos de menor granulometria tendem a se acomodar mais facilmente, gerando menor espaçamento entre partículas, criando um ambiente de anaerobiose. Em geral, as partículas deverão apresentar entre 25 e 75 mm (PEREIRA NETO, 2007).

f) Umidade: Além da aeração, é de extrema importância para a ação dos microrganismos o controle da umidade na pilha de compostagem, com valores ideais entre 55 e 60% (TEIXEIRA et al., 2004). Se houver a presença de umidade superior a 60%, a água toma todo o espaço do oxigênio, levando à anaerobiose, e, em valores inferiores a 40% a atividade biológica é reduzida consideravelmente (BIDONE; POVINELLI, 1999). Adicionalmente, como consequência da redução da atividade microbiana, pode ocorrer predomínio da ação de fungos (KIEHL, 1998), o que é preocupante, pois os fungos precisam de um pH em torno de 5 a 6, resultando na redução de atividade bacteriana na decomposição da massa de resíduos (FERNANDES, 1999).

g) Substrato: Para que o processo de compostagem seja eficiente, é necessária a utilização de material orgânico rico em nitrogênio (N), um nutriente de extrema importância para a realização do processo bioquímico e, também, rico em carbono (C) a exemplo de restos de alimentos e aparas de grama. Adicionalmente, pode-se utilizar esterco de animais como fonte de microrganismos decompositores (inoculo) para acelerar a formação do composto (TEIXEIRA, 2004; OLIVEIRA, 2005).

h) Microrganismos: Todos os fatores ambientais controlados durante a compostagem influenciam diretamente na dinâmica microbiana. A compostagem tem como principal característica a mudança constante das colônias de microrganismos envolvidos na decomposição do material orgânico, o que se deve as diferentes fases e condições operacionais do processo (MILLER, 1993).

Segundo Corrêa et al. (1982) na fase inicial da decomposição, denominada de mesófila, ocorre a predominância de bactérias, as quais são responsáveis pela quebra inicial da matéria orgânica, o que proporciona o aumento gradativo da temperatura na pilha de resíduos. Adicionalmente, nesta mesma fase ocorrem atividades de fungos que utilizam a matéria orgânica sintetizada pelas bactérias e outros microrganismos como fonte de energia (PEREIRA NETO, 2007).

Devido ao aumento considerável da temperatura, ocorre a morte de alguns microrganismos, havendo a multiplicação de actinomicetos, bactérias (responsáveis pela degradação de materiais complexos) e fungos termófilos, responsáveis pela decomposição da celulose e lignina (de difícil degradação) (RIFALDI et al., 1986; KIEHL, 1985).

i) Dimensionamento das leiras: independentemente da caracterização dos materiais orgânicos, o dimensionamento das leiras é de grande significância para garantir a eficiência do processo e qualidade do composto orgânico produzido. Uma leira de compostagem deve conter o tamanho

ideal para evitar a dissipação rápida de calor e umidade, além de garantir a circulação de ar e, por consequência, a oxigenação do meio de reação (RODRIGUES et al., 2006).

De acordo com Kiehl (2004) citado por Valente et al. (2009), a altura do material a ser degradado biologicamente deve estar entre 1,5 m e 1,8 m. Entretanto, outras dimensões são utilizadas como, por exemplo, no trabalho de Nunes (2003), verificou-se que em leiras com dimensões de 3,2 m de comprimento, 2,0 m de largura e 1,0 m de altura, as temperaturas mantiveram-se entre 40 °C e 50 °C por um longo período, sendo registradas elevações médias de 10 °C.

Costa et al. (2006), ao aplicarem a compostagem em resíduos de carcaças de aves na presença e ausência de oxigênio, em células preenchidas com os materiais até 1,80 m de altura, observaram que as temperaturas se mantiveram entre 40° C e 70 ° C, para ambos os sistemas (com e sem aeração). No estudo de Valente (2009), após a realização da primeira fase da compostagem (carcaças de frango e cama de aviário) foram formadas leiras de 1,6 m de largura, 1,0 m de altura e 3,0 m de comprimento, com revolvimentos realizados a cada 18 dias, e adição de água na pilha de resíduos. O autor verificou que a temperatura variou entre 40 °C e 70 °C, com aumentos perceptíveis após cada revolvimento e redução posterior.

De maneira generalizada, a altura das leiras deve ser estabelecida de acordo com as características do material a ser compostado. Entretanto, é importante salientar que deve ser considerada uma altura mínima de 0,80 m, uma vez que, abaixo desse nível não existem condições adequadas para a elevação e manutenção da temperatura necessária à eficiência do sistema e qualidade do composto orgânico produzido (VALENTE et al., 2009).

4.6 Utilização do composto orgânico

Um composto (adubo orgânico) de qualidade dependerá do controle dos parâmetros sugeridos no item 4.5 durante o processo de compostagem, sendo também levado em consideração, o tipo de cultura, tipo do solo, histórico da área agrícola e associação orgânica com a adubação química (TEIXEIRA, 2002).

Um composto de boa qualidade pode ser utilizado na produção de alimentos (leguminosas, grãos e árvores frutíferas), paisagismo (plantas ornamentais, parques e praças), reflorestamento de áreas degradadas, fornecimento de macro e micronutrientes, exerce o efeito tampão no solo por sua elevada área de Capacidade de Troca Catiônica (CTC), complementa a cobertura de aterros, controle de erosão, entre outras utilidades (CARVALHO, 2001; PEREIRA e GONÇALVES, 2011). Adicionalmente, encontram-se evidências na literatura de que os

compostos orgânicos reduzem a proliferação de organismos fitopatogênicos, que ajudam a controlar algumas doenças pertinentes ao sistema radicular das plantas (LIEVENS, 2001).

Para Gonçalves et al. (2000) os substratos ideais para mudas propagadas via sementes e estacas podem ser obtidos a partir da mistura de 70 a 80% de composto orgânico e de 20 a 30% de um componente que aumente a macroporosidade do solo como, por exemplo, cascas de arroz carbonizadas, cinza de caldeira de biomassa, bagaço de cana-de-açúcar carbonizado, dentre outros.

Para que o composto esteja completamente curado, geralmente o processo demora entre 120 e 150 dias. O composto curado, denominado de humificado, apresenta coloração escura, cheiro de bolor e consistência amanteigada, quando molhado e esfregado nas mãos (popularmente deixando a mão com aspecto de “suja de graxa”). Para que a aplicação no solo seja satisfatória, o produto final deverá ter no máximo 25% de umidade, pH superior a 6,0 e a relação C/N na faixa de 10/1 a 15/1 (CERRI et al., 2008).

A identificação do composto orgânico curado pode ser feita através de alguns testes: um deles é a utilização de plantas sensíveis, as quais indicam sobre o potencial fitotóxico do fertilizante, pois respondem alterando seu padrão de desenvolvimento. Fertilizantes orgânicos ainda não estabilizados interferem no crescimento das plantas, devido à grande atividade microbiana que ocorrerá no solo. Esse processo pode induzir a inúmeras deficiências minerais, já que estes estarão sendo processados pelos microrganismos através do fenômeno de imobilização (CERRI et al., 2008). Adicionalmente, pode-se realizar também uma análise visual do respectivo composto, uma vez que, segundo Chaves (2017) o composto apresenta uma coloração “marrom”, com pouca umidade e odor de solo.

Guerra et al. (2020) avaliaram a produção de repolho e tomate em horta escolar com a utilização de composto orgânico e lixiviado em uma escola rural de Três Passos/RS. Os autores constataram que a produção média de repolho por planta foi de 444 g, 403 g e 373 g com uso do composto orgânico, lixiviado e testemunha, respectivamente. Para a produção de tomate, observou-se uma produção de 182 g, 122 g e 113 g para o composto orgânico, lixiviado e testemunha, respectivamente. Como conclusão do estudo entende-se que a utilização do composto como adubo orgânico favoreceu a produção das hortaliças e atendeu a expectativa dos participantes na produção de alimentos em hortas escolares utilizando fontes alternativas de adubação.

Medeiros et al. (2010) apresentaram em seu trabalho que a utilização do substrato obtido a partir de palha de gramíneas e folhas de coco trituradas apresentaram o melhor

desenvolvimento inicial das mudas de alface. Segundo os autores, esse fato pode ser atribuído a composição de cada resíduo utilizado, sendo que o tratamento contendo apenas esterco bovino e outro utilizando apenas resíduos de horta tiveram uma decomposição mais lenta do que os outros tratamentos.

4.7 Sistemas tradicionais e alternativos de compostagem

Segundo Almeida (2015), a compostagem pode ser dividida em três grandes grupos de processos, sendo: sistemas de leiras revolvidas (*windrow*), sistemas de leiras estáticas aeradas (*static pile*) e sistemas fechados ou reatores biológicos (*in-vessel*), conforme as principais características descritas a seguir:

a) Sistema de leiras revolvidas: é a técnica mais comum e utilizada, consistindo em um sistema simplificado de operação, o qual não necessita de equipamentos complexos, e os compostos orgânicos gerados apresentam boa qualidade. Os resíduos orgânicos são dispostos em leiras, sendo feito o revolvimento da pilha, que possibilita a injeção do oxigênio necessário ao processo. Sistemas alternativos também podem ser utilizados, no qual, a insuflação de ar sob pressão na massa orgânica pode ser utilizada.

Dentre as principais desvantagens do sistema cita-se: dimensões reduzidas das leiras, dificuldade de controlar odores, o local de operação não pode ser coberto, o revolvimento é limitado em dias chuvosos e o monitoramento deve ser constante para auxiliar no controle da temperatura do meio de reação (BEUREN, 2019).

Um modelo de leiras revolvidas foi construído na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), na Unidade Universitária de Mundo Novo, e será utilizado para o desenvolvimento de trabalhos futuros, conforme pode ser observado na Figura 2.



Figura 2. Imagem ilustrativa de um sistema de compostagem em leiras implantado na UEMS – Mundo Novo no ano de 2020.

Segundo Figueira Júnior (2012), em escala industrial é normalmente utilizado os sistemas de leiras ou sistema de reatores. Para o sistema de leiras o resíduo orgânico é misturado com componentes químicos e disposto em forma de montes. Para a renovação de oxigênio na leira é utilizado um equipamento para o revolvimento (tratores agrícolas, equipamentos autopropeidos, pás carregadeiras ou até mesmo enxadas), conforme sistema demonstrado na Figura 3.

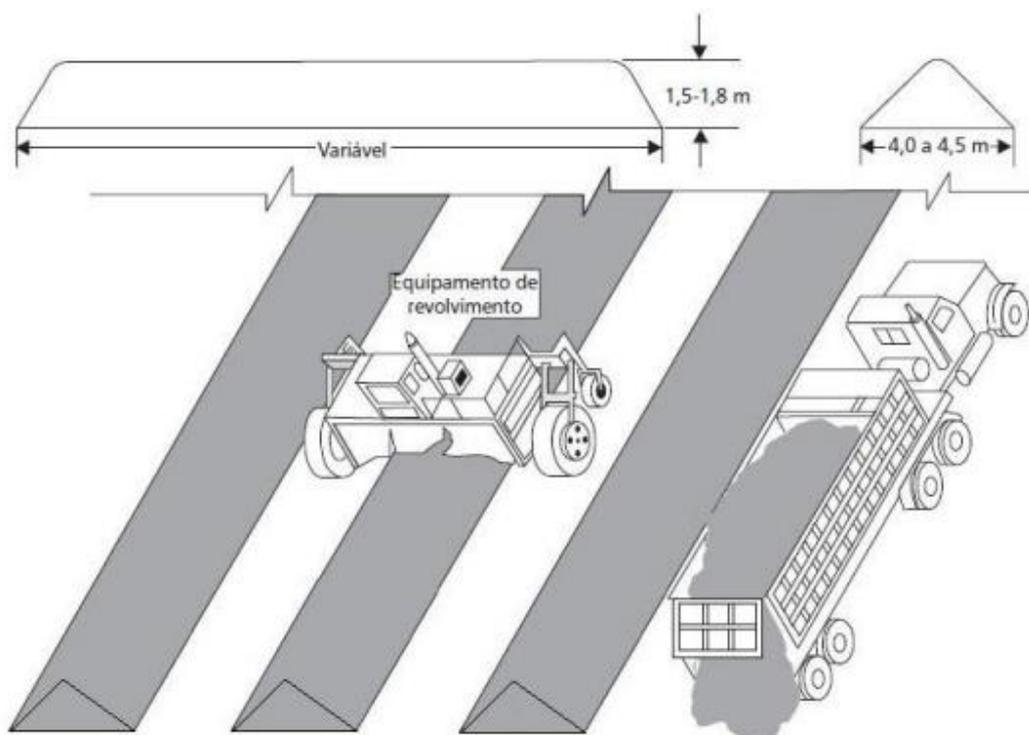


Figura 3. Revolvimento das leiras em escala industrial.

Fonte: Andreoli (2001) citado por Figueira Júnior (2012).

b) Sistema de leiras estáticas aeradas: processo no qual não ocorre o revolvimento mecânico das leiras, mas a aeração é forçada através de ventiladores conectados por uma tubulação, em que é possível injetar ou aspirar o ar presente na massa do composto. Este sistema é recomendado para o controle de odores, temperatura e aeração. Na fase de bioestabilização o processo é mais eficiente que em sistemas de leiras revolvidas. Como ponto negativo cita-se a demanda de um bom dimensionamento do sistema de aeração e o controle desse sistema (FIGUEIRA JÚNIOR, 2012). O processo descrito pode ser visualizado na Figura 4.

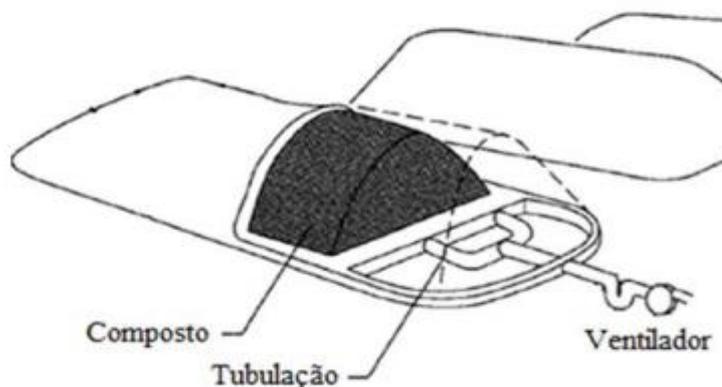


Figura 4. Imagem ilustrativa do esquema de uma leira estática com aeração forçada.

Fonte: Fernandez e Silva (1999) citado por Figueira Júnior (2012).

c) Sistemas fechados ou reatores biológicos: consiste na disposição dos resíduos em um sistema fechado, onde é possível controlar os parâmetros envolvidos no processo de compostagem. Essa característica possibilita que o processo também seja chamado de “compostagem acelerada”. Os reatores são classificados em três categorias: reatores de fluxo vertical, reatores de fluxo horizontal e reatores de batelada (PEREIRA, 2016). Segundo o mesmo autor, este sistema possibilita elevada eficiência no controle de patógenos, promove o controle de odores e é de fácil controle operacional. Um esquema deste sistema pode ser visualizado na Figura 5.

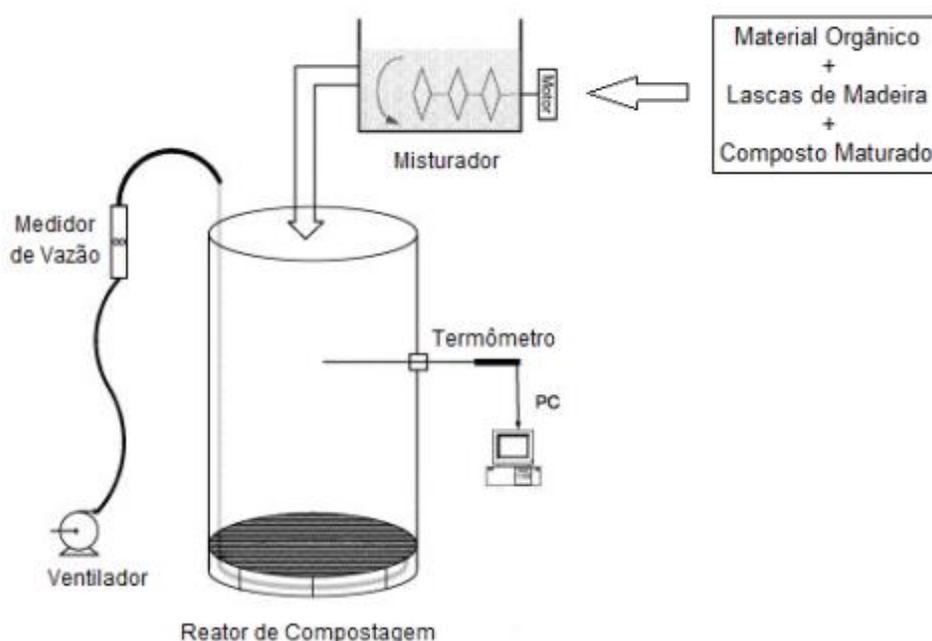


Figura 5. Imagem ilustrativa de um sistema de reator de compostagem.

Fonte: Adaptado de Grube (2006) citado por Figueira Júnior (2012).

4.8 Trabalhos relacionados a compostagem de resíduos orgânicos

Segundo Inácio (2010), restos de alimentos apresentaram 84% de umidade, porém, a relação de C/N é baixa (13:1). Adicionalmente, possuem 26,9 g/kg de nitrogênio (N), 19,9 g/kg de potássio (K), e menores concentrações de fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), apresentando respectivamente 2,7 g/kg, 3,1 g/kg e 1,2 g/kg. O mesmo autor ainda afirma que a compostagem de resíduos orgânicos é um processo potencialmente rápido, e que para evitar a atração de vetores é necessário a mistura de resíduos com menor percentual de umidade e com a relação C/N mais alta como, por exemplo, a grama de jardinagem, a qual apresenta relação C/N de 38:1.

No trabalho de Carneiro (2012), foi feita a compostagem de resíduos agroindustriais, sendo eles: resíduo de incubatório, lodo de flotador, cinza e carvão remanescente de caldeira, fração sólida de dejetos suíno, fração sólida do resíduo da lavagem de caminhões e resíduos da limpeza e pré-limpeza de grãos. Foram feitos 12 tratamentos, onde houve combinações de três frequências de revolvimentos: com cobertura do pátio, sem cobertura e com inoculação do Produto Comercial Biológico. Cada leira foi montada com 300 kg de massa fresca de resíduos. Os teores de P, K, Mg, Ca, Zn, Cu, Mn e Fe foram determinados no início e no final do processo. A cobertura do pátio teve efeito significativo da diminuição do volume e perdas de nitrogênio, além de resultar no aumento da condutividade elétrica. Entretanto, causaram a perda de N e C, alterando a relação C/N.

No estudo de Inbar et al. (1993) utilizou-se esterco bovino como substituto da turfa em estufas, sendo o processo realizado em caixas perfuradas com volume de 1 m³. As propriedades físicas e algumas propriedades químicas apresentaram uma alta taxa de mudança entre os 40 e 60 dias do processo de compostagem. Os bioensaios de plantas mostraram que o composto com o período de 40 a 60 dias inibiu o crescimento e a resposta limitada de fertilizantes, entretanto após 80 a 90 dias tais problemáticas não foram mais encontradas após o composto estar curado.

MacGregor et al. (1981), implantaram a compostagem utilizando o sistema de pilha estática, tendo como substrato uma mistura de lodo de esgoto e aparas de madeira. Os resultados indicaram que existem dois principais tipos de sistemas de compostagem: um sendo autolimitante e outro não sendo autolimitante. Quando o sistema é autolimitante, ao atingir temperaturas inibidoras (geralmente maiores que 60 °C), debilita a comunidade microbiana, e, conseqüentemente prejudica o processo de decomposição da matéria orgânica.

Primo et al., (2010) analisaram a qualidade final do composto orgânico de resíduos de fumo, verificando a relação da composição de nutrientes e a presença de substâncias tóxicas ativas, justificada pelas características do substrato. Os experimentos foram conduzidos utilizando diferentes combinações entre substratos: talo de fumo triturado + esterco e rúmen bovino; talos de fumo + esterco bovino e Microsept-Po e talos de fumo + esterco bovino. Os resultados obtidos mostraram alta concentração de K, N, Cl e Fe e não se detectaram resíduos de agrotóxicos, o que comprovou a possibilidade de utilização deste composto para fins agrícolas.

Costa et al. (2009) confeccionaram 12 leiras de compostagem utilizando como substrato resíduos de frigorífico, palha de trigo e serragem de madeira. O processo foi avaliado diariamente pelo monitoramento da temperatura, presença de odores desagradáveis e/ou

amoniacaís, formação de chorume e presença de moscas e larvas e capacidade de reciclagem de nutrientes. A frequência de revolvimentos adotada foi de 15 dias após a confecção da leira, seguida de revolvimentos semanais. Os autores concluíram que a melhor relação de peso encontrada foi de 7,2 kg de resíduos para cada kg de palha e 16,6 kg de resíduos para cada kg de serragem.

Figueiredo et al., (2019) apresentaram em seu trabalho a quantificação da composição de nutrientes do processo de compostagem em pequena escala. Os resultados com leiras de 1 m³ apresentaram temperaturas que variam de 49,9 a 56,0 °C e o pH foi de 9. Os parâmetros orgânicos e inorgânicos se mantiveram semelhantes aos da compostagem convencional e os autores concluíram que a compostagem em pequena escala é uma alternativa viável ao descarte de resíduos sólidos.

Lau et al., (1992) estudaram a aeração do processo de compostagem com dejetos de suínos, em que foram preparados três experimentos com aerações controladas para determinar a taxa de aeração ideal. Além da aeração, a temperatura foi um dos fatores mais importantes para indicação da eficiência e eficácia do processo. Foram observadas temperaturas de 55 °C em dois dias de execução do trabalho, permanecendo acima desta temperatura entre o 3º e 7º dia. Os resultados indicaram que a temperatura foi controlada pela taxa de aeração combinada com a frequência e a duração.

Souza et al., (2019) utilizaram em seu trabalho de compostagem resíduos sólidos provenientes da produção e do abate da caprino-ovinocultura, incluindo sobras de capim-elefante triturado seco, poda de árvores, esterco e carcaça de caprinos e ovinos. As leiras foram montadas em três níveis de umidade para os tratamentos (30, 50 e 70% com base no peso da carcaça dos animais). A compostagem resultou na eliminação dos patógenos avaliados, o que mostrou que o composto não oferece risco de transmissão, podendo ser utilizado de forma segura como adubo orgânico.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desta forma, conclui-se que o ser humano é um grande gerador de resíduos sólidos devido ao elevado consumismo e superpopulação. No Brasil, uma parte considerável dos resíduos gerados não são coletados corretamente, o que torna imprecisa a conclusão sobre a destinação final destes materiais. Nota-se que a maioria dos resíduos gerados são orgânicos, e, quando não tratados causam sérios impactos ao meio ambiente.

Com isso, como uma das melhores formas de tratamento destes resíduos sólidos orgânicos pode ser citada a compostagem, desde que sejam controlados os fatores que influenciam no processo, como: a umidade, aeração, pH, relação C/N, granulometria do resíduo, tipo de substrato, temperatura, microrganismos e dimensionamento da leira. Além disso, a escolha correta da técnica de manejo para o processo de compostagem é essencial para a eficiência do sistema, dentre elas: sistemas de leiras revolvidas (*windrow*), sistemas de leiras estáticas aeradas (*static pile*) e sistemas fechados ou reatores biológicos (*in-vessel*).

Um composto de boa qualidade pode ser utilizado na produção de alimentos (leguminosas, grãos e árvores frutíferas), paisagismo (plantas ornamentais, parques e praças), reflorestamento de áreas degradadas, fornecimento de macro e micronutrientes, exerce o efeito tampão no solo por sua elevada área de Capacidade de Troca Catiônica (CTC), complementa a cobertura de aterros, auxilia no controle de erosão, dentre outras diversas utilizações.

Salienta-se o aumento de trabalhos relacionados ao processo de compostagem, contudo, é importante que seja transmitido para a população a importância da segregação correta dos seus resíduos sólidos, sendo necessário o desenvolvimento de ações que possibilitem o conhecimento sobre a compostagem e seus benefícios. Adicionalmente, sugere-se a aplicação de compostagem comunitária como ferramenta para o incentivo da prática de tratamento ambientalmente correto dos resíduos gerados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004. **Resíduos Sólidos**-Classificação. São Paulo, 2004.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil em 2019**. 2019. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019>. Acesso em: 22 fev 2020.

ALMEIDA, T. E. **Estudo da compostagem de tabaco de cigarros contrabandeados misturados a lodo de ETE por meio de análises convencionais e espectroscópicas**. 2015. 95 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação Mestrado em Química) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2015.

ARAUJO, E. C. S. **Organismos que participam das diferentes fases do tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares**. 2018. 178 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação Mestrado em Ciência e Tecnologia) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2018.

BEUREN, F. **Utilização de diferentes tipos de resíduos agroindustriais como substratos na compostagem de biossólido industrial**. 2019. 97 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Ambiental) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2019.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. [S.I: s.n.], 1999. São Paulo: EESC- USP.

BRASIL. **Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos 421 Sólidos. Brasília, DF, Diário Oficial da União, Seção. 1, 3 p., 2010.

CARNEIRO, L. J. **Compostagem de resíduos agroindustriais: revolvimento, inoculação e condições ambientais**. 2012. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

CARNEIRO, L. J. **Controle estatístico da qualidade do composto orgânico proveniente de resíduos agroindustriais**. 2016. 58 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.

CARVALHO, P.C.T. Compostagem. In: TSUTYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELF, A.J.; MELO, W.J.; MARQUE, M.O. (Ed). **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP. cap. 6, p.181-207. 2001.

CERRI, C. E. P.; De OLIVEIRA, E. C. A.; SARTORI, R. H.; GARCEZ, T. B. **Compostagem**. São Paulo: Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo, 2008.

CHAVES, J. S. **Estudo de composteiras e vermicomposteiras para tratamento de resíduos sólidos orgânicos**. 2017. 67 f. Monografia. (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Ambiental) (Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2017.

CORRÊA, D, F.P.; PRESSI, M.L.G. JACOMETTI E P.I. SPITZNER. **Tecnologia de fabricação de fertilizantes orgânicos**. In: Cerri, C.C.; D. Athié. The regional colloquium on soil organic matter Archivos de zootecnia vol. 58(R), p. 80. studies. Proceedings... São Paulo. p. 217-222, 1982.

COSTA, M. S. S. D. M.; COSTA, L. A. D. M.; DECARLI, L. D.; PELÁ, A.; DA SILVA, C. J. D.; MATTER, U. F.; OLIBONE, D. Compostagem de resíduos sólidos de frigorífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.1, p. 100-107, 2009.

COSTA, M. S. DS. M.; COSTA, L. A. D. M.; SESTAK, M.; OLIBONE, D.; SESTAK, D.; KAUFMANN, A. V.; ROTTA, S. R. Compostagem de resíduos da indústria de desfibrilação de algodão. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.2, p. 540-548, 2005.

D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: IPT: CEMPRE, 2000.

DINIZ FILHO, E. T.; MESQUITA, L. D.; OLIVEIRA, A. D.; NUNES, C. G. F.; LIRA, J. D. A prática da compostagem no manejo sustentável de solos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 2, n. 2, p. 27-36, 2007.

DORES-SILVA, P. R.; LANDGRAF, M. D.; REZENDE, M. O. O. Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. **Química Nova**, v.36, n.5, p. 640-645, 2013.

FERNANDES, P. A. L. **Estudo comparativo e avaliação de diferentes sistemas de compostagem de resíduos sólidos urbanos**. 1999. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 1999.

FIGUEIRA JUNIOR, E. A. **Projeto Industrial para Aeração Automática de Leiras de Compostagem Orgânica**. 2012. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2012.

FIGUEIREDO, R. T.; BRITO, M. J. C.; SANTOS, P. H. C.; SOARES, C. M. F.; BURLE, E. C. Monitoramento de compostagem em pequena escala. **Semioses**, v. 13, n. 3, p. 98-107, 2019.

GONÇALVES, J. L. M.; SANTERELLI, E. G.; NETO, S. P.M.; MANARA, M. P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, p. 309-350, 2000.

GUERRA, D.; REDIN, M.; DA SILVA, D. M.; BISOGNIN, R. P.; DE SOUZA, E. L.; STEFFLER, A. D. ROCHA, L. D.; GUERRA, D.; REDIN, M.; DA SILVA, D. M.; BISOGNIN, R. P.; DE SOUZA, E. L.; STEFFLER, A. D. Produção de tomate e repolho com composto orgânico e lixiviado em hora escolar. **Revista extensão em foco**, v.21, p. 101-115, 2020.

GUSI, C. F; TAGLIAFERRO, E. R; SILVA, J. D. S; FREITAS, M. J. Estudo da destinação dos resíduos sólidos urbanos em São Francisco de Sales/MG. **Organizações e Sociedade**, v. 7, n. 8, p. 45-63, 2018.

HUGHES, E. G. “The Composting of Municipal Wastes”. In: Handbook of Organic Waste Conversion, BEWICK, M. W. M. New York: Van Nostrand Reinhold, Env. Engrs. Series, p. 108- 134, 1980. HUGHES, E. G. The composting of municipal wastes. **Handbook of organic waste conversion**, p. 108-114, 1980.

INÁCIO, C. T. Compostagem de restos de alimentos com aparas de grama e esterco de animais: monitoramento do processo. **Embrapa, Circular Técnica** 46, p. 1–7, 2010.

INBAR, Y; HADAR, Y; CHEN, Y. Recycling of cattle manure: the composting process and characterization of maturity. **Journal of Environmental quality**, v. 22, n. 4, p. 857-863, 1993.

KADER, N.A.E; ROBIN. P; PAILLAT, J.M; LETERME. Turning, compacting and the addition of water as factors affecting gaseous emissions in farm manure composting. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 14, p. 2619-2628, 2007.

- KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Editora Agronômica Ceres Ltda. Piracicaba. 492 p. 1985.
- KIEHL, E. J. **Manual de compostagem**. Piracicaba: EJ Kiehl, 1998.
- KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4ª ed. Piracicaba. :. E. J. KiehlKiehl. 173 p. 2004.
- LAU, A. K; LO, K.V; LIAO, P.H; YU, J.C. Aeration experiments for swine waste composting. **Bioresource Technology**, v. 41, n.2, p. 145-152, 1992.
- LIEVENS, B.; VAES, K.; COOSEMANS, J.; RYCKEBOER, J. Systemic resistance induced in cucumber against Pythium root rot by source separated household waste and yard trimmings composts. **Compost science & utilization**, v. 9, n. 3, p. 221-229, 2001.
- MACGREGOR, S. T.; MILLER, F. C.; PSARIANOS, K. M.; FINSTEIN, M. S. Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature. **Applied and environmental microbiology**, v. 41, n. 6, p. 1321-1330, 1981.
- MARAGNO, E. S.; TROMBIN, D. F.; VIANA, E. O uso da serragem no processo de minicompostagem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 355-360, 2007.
- MATOS, A. T. Tratamento de resíduos agroindustriais. In: CURSO SOBRE TRATAMENTO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS, 2005, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2005. p.1-34.
- MEDEIROS, A. S.; SILVA, E. G.; LUISON, E. A.; ANDREANI JUNIOR, R.; KOUZSNY-ANDREANI, D. I. Utilização de compostos orgânicos para uso como substratos na produção de mudas de alface. **Agrarian**, v. 3, n. 10, p. 261-266, 2010.
- MILLER, F. C. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors. **Microbial Ecology**, p. 515-544, 1993.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos: manual de orientação** [recurso eletrônico] / Ministério do Meio Ambiente, Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo, Serviço Social do Comércio/SC. -- Brasília, DF: MMA, 2018.
- NOGUERA, Jorge J. Orlando. Cuéllar. Compostagem como prática de valorização dos resíduos alimentares com foco interdisciplinar na educação ambiental. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 316-325, 2011.
- NUNES, M. L. A. **Avaliação de procedimentos operacionais na compostagem de dejetos de suínos**. 2003. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- OLIVEIRA, C. C. S. **Resíduos sólidos urbanos: Impactos da emissão de CO₂ dos Aterros Sanitários dos municípios de Jaboatão dos Guararapes, Escada e Altinho no Estado de Pernambuco, Brasil**. 2019. 50 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia

em Gestão Ambiental) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Recife, 2019.

OLIVEIRA, E. C. A.; SARTORI, R. H.; GARCEZ, T. B. **Compostagem**. Piracicaba–São Paulo, p. 19, 2008.

OLIVEIRA, F. N. S; LIMA, H. J. M; CAJAZEIRA, J. P. **Uso da compostagem em sistemas agrícolas orgânicos**. Embrapa Agroindústria Tropical. Fortaleza, 2004.

PEIXOTO, R. T. G. **Compostagem: Opção para o manejo orgânico do solo**. Londrina: IAPAR, 1988.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Ed. UFV, 81 p., Viçosa - MG, 2007.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de Compostagem: processo de baixo custo**. Viçosa: UFV, 2014.

PEREIRA NETO, J. T. Minimização de resíduos sólidos: reciclagem/coleta seletiva e compostagem. **Simpósio Internacional de Destinação de Lixo, Salvador**. Salvador: CONDER, p. 269-80, 1994.

PEREIRA, A. P; GONÇALVES, M. M. Compostagem doméstica de resíduos alimentares. Pensamento Plural. **Revista Científica do UNIFAE**, São João da Boa Vista, v. 5, n. 2, 2011.

PEREIRA, B. S. **Sistemas experimentais de compostagem de resíduos orgânicos: estudos de caso**. 2016. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia da UNESP, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2016.

PEREIRA, D, C, M. S. **Compostagem pelo método de aeração passiva: uma solução sustentável para resíduos sólidos orgânicos da indústria de celulose e papel**. 2010. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade de Taubaté, São Paulo, 2010.

PRIMO, D. C.; FADIGAS, F. D. S.; CARVALHO, J. C.; SCHMIDT, C. D.; BORGES FILHO, A. Avaliação da qualidade nutricional de composto orgânico produzido com resíduos de fumo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 742-746, 2010.

REIS, M. F. P. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos**. 2005. 239 f. Tese (Programa de Pós-GraduaçãoDoutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

RIBEIRO, L. C. **Compostagem de lodo de esgoto: caracterização e bioestabilização**. 2018. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Botucatu, 2018.

RIFFALDI, R.; R. LEVI-MINZI, R.; A. PERA, A.; AND M. DE BERTOLDI, M. Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analyses. **Waste management & research**, v. 4, n. 4, p. 387-396, 1986.

RODRIGUES, M.S., F.C. DA SILVA, L.P. BARREIRA E A. KOVACS. Compostagem: reciclagem de resíduos sólidos orgânicos. **Gestão de Resíduos na agricultura e agroindústria**. Botucatu: FEPAF, p. 63-94, 2006.

RUSSO, M. A. T. **Tratamento de resíduos sólidos**. 196 f., 2003. 196 f. Monografia (Engenharia Civil) - Universidade de Coimbra. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Coimbra, 2003.

SANTOS, H. M. N. **Educação ambiental por meio da compostagem de resíduos sólidos orgânicos em escolas públicas de Araguari**. 2007. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

SARMENTO, É. B.; RODRIGUES, D. S.; DE ALMEIDA, R.; TONELI, J. T. D. C. L.; ANTONIO, G. C. Estudo do potencial energético dos resíduos sólidos domiciliares brasileiros a partir da sua composição gravimétrica. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, p. 616-630, 2020.

SCHALCH, V.; MASSUKADO, L.M.; BIANCO, C.I. Compostagem. In: NUNES, R.R.; REZENDE, M.O.O. **Recurso solo – propriedades e usos**. São Carlos/SP: Editora Cubo, 2015. P. 633-659.

SEIFFERT, N.F. Planejamento da atividade avícola visando qualidade ambiental. In: Simpósio sobre Resíduos da Produção Avícola, Concórdia, 2000. **Anais ... Concórdia, SC**. p. 1 – 20, 2000.

SILVA, R. P. G.; AMORIM, M. F.; NOBRE, C. A.; COSTA, T. G. A.; ROCHA, I. L. Aplicação do índice de qualidade de aterros de resíduos (IQR) em área de disposição de resíduos sólidos urbanos do município de RIACHO FRIO-PI. **Cadernos Cajuína**, v. 1, n. 3, p. 36-43, 2016.

SOUZA, H. D.; OLIVEIRA, E. L.; FACCIOLI-MARTINS, P. Y.; SANTIAGO, L.; PRIMO, A. A.; MELO, M. D.; PEREIRA, G. A. C. Características físicas e microbiológicas de compostagem de resíduos animais. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 71, n. 1, p. 291-302, 2019.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Einstein (São Paulo)**, v. 8, n. 1, p. 102-106, 2010.

TEIXEIRA, L. B.; GERMANO, V. L. C.; OLIVEIRA, R. F.; FURLAN JÚNIOR, J. Processo de compostagem a partir de lixo orgânico urbano e caroço de açaí. **Embrapa Amazônia Oriental, Circular Técnica**, n. 29, p.1-8, 2002.

TEIXEIRA, L. B.; GERMANO, V. L. C.; OLIVEIRA, R. F.; FURLAN JÚNIOR, J. Processo de compostagem a partir de lixo orgânico urbano em leira estática com ventilação natural. **Embrapa Amazônia Oriental. Circular técnica**, n. 33, p. 1-8, 2004.

TRIVELLA, R. B. B.; ABREU, M. J. de; PALERMO, P. R. O.; TEIXEIRA, C; BOTTAN, G. A.; PEREIRA, I. C. A Compostagem Termofílica como metodologia para restauração de áreas degradadas dentro de uma Unidade de Conservação, Florianópolis (SC). **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3, p 1-8, 2016.

VALENTE, B. S. XAVIER, E.G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D. S.; BRUM JR, B. S.; CABRERA, B. R.; MORAES, P. O.; LOPES, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, v.58, p.59-65, 2009.