

Análise dos principais parâmetros que influenciam a compostagem de resíduos sólidos urbanos

Luan Alves de Souza ^{1*}, Dirlane de Fátima do Carmo ², Flávio Castro da Silva ³, Walter de Meira Lima Paiva ⁴

¹Mestre em Engenharia de Biosistemas, Universidade Federal Fluminense, Brasil. (*Autor correspondente: luan_souza@id.uff.br)

²Doutora em Saneamento pela EESC/USP, professora Associada I da Universidade Federal Fluminense, Brasil.

³Doutor em Engenharia Agrícola pela UFPA, professor adjunto da Universidade Federal Fluminense, Brasil.

⁴Engenheiro de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, Universidade Federal Fluminense, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 23/03/2020 – Revisado em: 14/04/2020 – Aceito em: 12/07/2020

RESUMO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/10, tem como meta a redução do percentual de resíduos úmidos disposto em aterros em aproximadamente 50% até 2031. Tal medida será responsável pelo aumento da vida útil dos aterros sanitários amenizando o problema de falta de locais apropriados para a instalação de novos aterros principalmente próximos a grandes centros urbanos. As usinas de triagem e compostagem e outros métodos descentralizados são alternativas para alcançar essa meta que depende de um esforço de todos que geram esse tipo de resíduo para que o processo seja otimizado. A separação na fonte por parte dos gestores e consumidores aliada a uma coleta seletiva eficaz, e um método de compostagem eficiente e economicamente viável, são os pilares que sustentam uma gestão sanitária esperada dos resíduos sólidos domésticos. A compostagem é uma técnica simples de tratamento de resíduos sólidos orgânicos mas que precisa de conhecimento e controle de alguns parâmetros para garantir a qualidade do composto final. Nesse trabalho foi avaliado o estado da arte do processo de monitoramento de compostagem de resíduos sólidos urbanos no Brasil baseado no levantamento e análise de material bibliográfico. Desses 130 documentos foram selecionados 22 tendo como critério a utilização de experimento em que tivesse ocorrido o monitoramento, para identificar os materiais e parâmetros mais utilizados, compreendendo um recorte temporal de 1999 a 2019. Os principais parâmetros que quando alterados podem influenciar na compostagem são: temperatura, umidade, pH, aeração, relação carbono-nitrogênio, granulometria, dimensão das leiras e os microrganismos envolvidos no processo. Entretanto, os mais utilizados para monitoramento são o pH, a temperatura e a umidade. É importante ressaltar que esses parâmetros apontam para os limites operacionais do processo, ou seja, a má condução técnica da compostagem pode acarretar desde a produção de um composto final de baixa qualidade, a morosidade do processo até a impossibilidade de se realizar a compostagem.

Palavras-Chaves: Composto Orgânico, Resíduos Orgânicos, Qualidade.

Main parameters that influence the composting process

ABSTRACT

The National Solid Waste Policy (PNRS), established by Law No. 12,305 (2010), aims to reduce the percentage of wet waste disposed of in landfills by approximately 50% by 2031. This providence will be responsible for increasing the useful life of landfills mitigating the problem of lack of appropriate locations for the installation of new landfills, especially close to large urban centers. Sorting and composting plants and other decentralized methods are alternatives to achieve this goal, which depends on the effort of everyone who generates this type of waste so that the process is optimized. The separation at source by managers and consumers, combined with the effective selective collection, and an efficient and economically viable composting method, are the pillars that support the expected sanitary management of domestic solid waste. Composting is a simple technique for treating organic solid waste, but it needs knowledge and control of some parameters to ensure the final quality of the final compost. In this work, the state of the art of the monitoring process for composting urban solid waste in Brazil was evaluated based on the survey and analysis of bibliographic material. Of these 130 documents, 22 were selected using the criterion of using an experiment in which monitoring had occurred, to identify the most used materials and parameters, comprising a time frame from 1999 to 2019. The main parameters that, when changed, can influence composting are temperature, humidity, pH, aeration, carbon: nitrogen ratio, particle size, windrow size and the microorganisms involved in the process. However, the most used for monitoring are pH, temperature and humidity. It is important to note that these parameters point to the operational limits of the process, that is, the poor technical conduct of composting can result in the production of a low-quality final compost, the length of the process until the impossibility of carrying out the composting.

Keywords: Organic Compost, Organic Waste, Quality.

1. Introdução

A geração acelerada de resíduos tem causado preocupação tanto em países desenvolvidos quanto em subdesenvolvidos ou em vias de desenvolvimento. A quantidade de resíduos gerados nas últimas décadas tem se constituído em um problema de ordem social, econômica e ambiental, devido principalmente ao desenvolvimento industrial, ao crescimento populacional e hábitos de consumo modernos.

Inácio e Miller (2009) afirmam que a fração orgânica dos resíduos urbanos causa impactos ambientais e sociais pela geração de odores e atração de vetores de doenças. Ainda segundo os autores, grandes quantidades de resíduos sólidos orgânicos são geradas pelas mais variadas atividades e setores da economia.

Segundo dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (2012a), 51,4% dos resíduos gerados no Brasil são de origem orgânica. Os resíduos orgânicos são, em sua maioria, provenientes de domicílios, restaurantes, supermercados, centrais de abastecimento e hortifrutis. Os restaurantes, por prepararem alimentos em grandes quantidades, geram consideráveis quantias de resíduos orgânicos diariamente. De forma análoga, os resíduos orgânicos domiciliares também são caracterizados pelo descarte de alimentos durante o processo de preparo e em sobras de prato. A produção agrícola também responde por parte da geração de resíduos orgânicos, sendo que o desperdício de hortaliças, frutas e legumes equivale a cerca de dez milhões de toneladas de alimentos a cada safra, o que corresponde, segundo dados do IPEA (2012b), a 35% da produção agrícola.

A produção de resíduos sólidos orgânicos vem crescendo de forma acentuada, sobretudo em países em desenvolvimento, pelo aumento do consumo e pela falta de políticas de saneamento básico e de processamento de resíduos (Zago e Barros, 2019). Entre os métodos de reaproveitamento/reciclagem pode-se citar a compostagem, que é uma técnica idealizada para se obter mais rapidamente e em melhores condições a desejada estabilização da matéria orgânica (Kiehl, 1985). De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (Brasil, 2010), a compostagem é a destinação final ambientalmente adequada para resíduos orgânicos e que pode reduzir a pressão sobre os aterros, além de gerar o composto orgânico que pode ser aproveitado na área agrícola.

A forma mais eficiente de se obter a biodegradação controlada dos resíduos orgânicos é por meio da compostagem, que é um processo biológico utilizado no tratamento e na estabilização de resíduos orgânicos, para a produção de húmus a partir da mistura de restos de alimentos, frutos, folhas, esterco, palhadas, dentre outros (Pereira Neto, 2007; Souza, Carmo e Silva, 2019). Utilizando-se a compostagem obtêm-se, no final do processo, um adubo orgânico homogêneo, de cor escura, estável, solto, pronto para ser usado em qualquer cultura, proporcionando uma melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Teodoro et al., 2015).

De acordo com Inácio e Miller (2009), a compostagem de resíduos orgânicos possibilita a minimização de impactos ambientais e de resíduos e a maximização da reciclagem, que para os autores são pontos fundamentais que constituem o conceito de desenvolvimento sustentável para o eficiente tratamento e destinação dos resíduos sólidos. Porém, para que a compostagem ocorra a partir de resíduos sólidos urbanos, a fração orgânica deve, preferencialmente, ser separada na fonte de geração, ser reciclada próximo a esse local ou contar com uma coleta seletiva eficiente, sendo destinada a uma usina de compostagem. Sem a coleta seletiva, a mistura de diferentes tipos de resíduos, além de exigir mais recursos para a separação na usina, diminui muito a qualidade final do composto. Outros fatores que contribuem para a reduzida qualidade do composto são a falta de revolvimentos constantes, o excesso de água nas leiras e a estabilização incompleta da matéria orgânica. Esses fatores tornam o composto indesejado ao principal mercado, o agrícola, que absorveria a demanda de um crescente sistema produtor de composto orgânico (Pereira Neto, 2007).

Portanto, tendo em vista que a presença de usinas de compostagem é um movimento relativamente recente no Brasil, proveniente da década de 1970, e que veio acompanhada de inúmeros casos de deficiência técnica e operacional, e ainda, que o tratamento de resíduos orgânicos no país não seja aplicado em larga escala, é relevante avaliar fatores limitantes para o monitoramento do processo, visto que tais fatores estão

diretamente ligados à qualidade do produto final. Assim, neste trabalho foram analisados quais parâmetros são os mais relevantes para o monitoramento da compostagem, quais interações podem ocorrer entre eles, identificando os que vêm sendo mais utilizados e como podem auxiliar a minimizar as limitações para o emprego desse processo visando o tratamento de resíduos sólidos orgânicos em larga escala.

2. Material e métodos

Nesse trabalho foi avaliado o estado da arte do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos no Brasil e, portanto, foi baseado no levantamento e análise de material bibliográfico. A pesquisa bibliográfica foi feita através de busca no portal Scielo, no Google Acadêmico e também no Science Direct, não havendo inicialmente um recorte temporal.

A princípio, as palavras chave de busca foram “compostagem de resíduos sólidos urbanos no Brasil”, às vezes precedidas de “desafios”, “panorama”, “perspectivas”, dentre outros termos. Os artigos mais apropriados, ou seja, os que apresentavam revisão bibliográfica mais abrangente, foram agrupados em uma tabela em que as colunas se referiam a: título; autores; ano da publicação; materiais utilizados na compostagem; parâmetros utilizados no monitoramento; pontos positivos e negativos destacados; sugestão para trabalhos futuros e contribuições.

Para organizar todos esses arquivos e permitir a busca simultânea de qualquer palavra contida em qualquer parte de cada um desses trabalhos foi usado o programa gratuito Mendeley versão 1.19.4 (Elsevier, 2019). Ao final do trabalho esse programa reuniu um acervo de 130 documentos, todos relacionados à compostagem ou a resíduos sólidos, sendo: Dissertações de mestrado, Teses de doutorado, trabalhos de conclusão de curso, manuais, instruções normativas, legislações, artigos científicos, dentre outros.

Desses 130 documentos foram selecionados 22 artigos científicos para comparação, tendo como critério a utilização de experimento em que houve o monitoramento, para identificar os materiais e parâmetros mais utilizados, compreendendo um recorte temporal de 1999 a 2019.

3. Desenvolvimento do trabalho

3.1. Levantamento dos materiais mais descritos como tendo sido utilizados para compostagem urbana nas últimas décadas no Brasil

Os materiais usados em compostagem podem ser separados em matérias úmidas (com alto teor de nitrogênio) e secas (com alto teor de carbono). Em processos de compostagem avaliados no presente trabalho, os materiais úmidos mais utilizados que apresentavam baixa relação Carbono (C):Nitrogênio (N) e o respectivo percentual de frequência de citação foram: o lodo de estações de tratamento de esgoto (23%), o esterco (36%), o resíduo sólido domiciliar (9%), os resíduos de restaurantes (45% Restaurante Universitário), os resíduos generalizados como restos vegetais (32%), resíduo sólido urbano em geral (9%) e resíduos de feiras livres (9%).

Considerando os materiais com relação C/N alta, que são os materiais secos, pode ser verificado que os mais frequentes foram os resíduos de serragem, que aparecem em cerca de 45% dos trabalhos, seguidos pela palha e folhas secas (36%), resíduos de poda (27%) e capina (23%). Materiais secos em sua maioria já se encontram separados na fonte e são excedentes de algum meio de produção ou serviços de limpeza e manutenção, com destaque para poda e capina em cidades com áreas verdes.

3.2. Parâmetros de monitoramento mais utilizados nos processos de compostagem

Segundo Inácio e Miller (2009), a compostagem é um processo de oxidação biológica em que os microrganismos decompõem os compostos orgânicos dos materiais liberando calor, dióxido de carbono e vapor de água. Logo, para que os microrganismos processem essa matéria orgânica de forma eficiente, é necessário que alguns parâmetros sejam observados de forma a propiciar as condições mais favoráveis às atividades microbianas.

Existem vários parâmetros que influenciam na compostagem, seja na qualidade final do composto ou no tempo necessário à sua estabilização.

3.2.1. Parâmetros biológicos

A matéria orgânica é transformada por meio da ação combinada de diferentes comunidades de microrganismos (incluindo fungos e leveduras, bactérias e actinomicetos) e da macro e mesofauna (minhocas, ácaros, formigas, besouros), onde cada um tem predominância em diferentes estágios da compostagem.

Kiehl (1985), explica que a conversão da matéria orgânica ao estado humificado é realizada por microrganismos, principalmente bactérias, fungos e actinomicetos. Ainda segundo o autor, a velocidade da decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos varia conforme a influência de determinados fatores, como umidade, aeração, relação C/N, pH e temperatura.

Conforme explicam Valente et al. (2009), durante o processo de compostagem ocorrem mudanças de espécies dos microrganismos envolvidos devido às modificações das condições do meio, o que torna difícil a identificação de todos os microrganismos presentes.

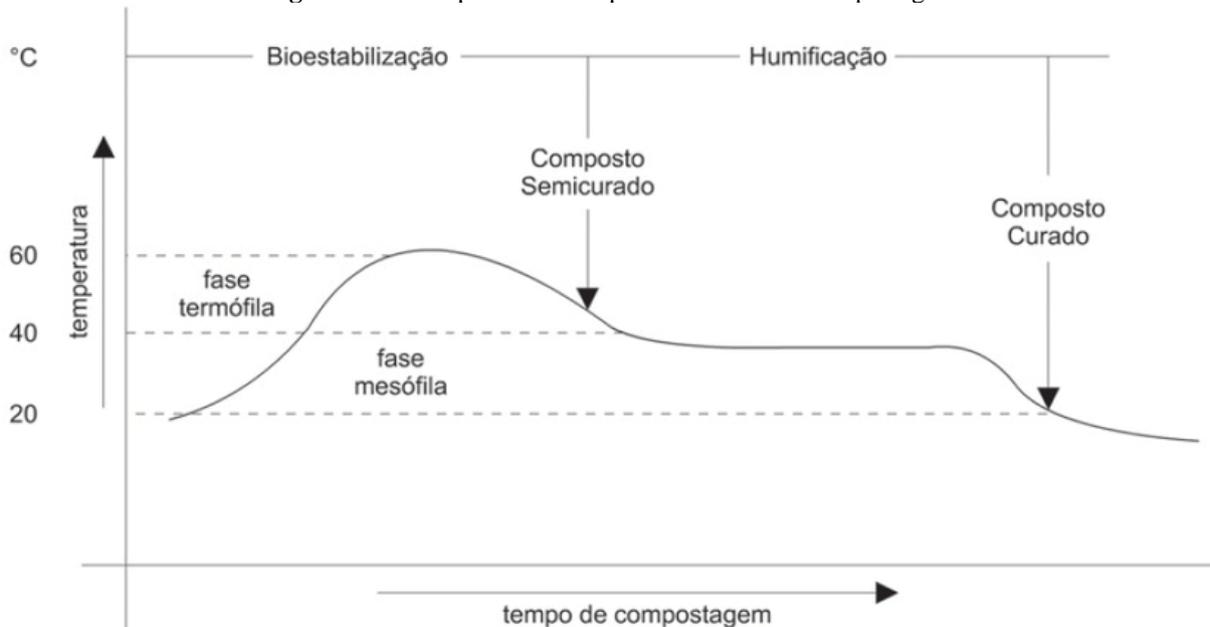
Pereira Neto (2007), afirma que a intensidade da atividade dos microrganismos decompositores nos processos de compostagem está estritamente relacionada à diversificação e a concentração de nutrientes. As populações microbiológicas determinam a velocidade a que se dá o processo de compostagem e a qualidade do produto final. A sua atividade depende dos nutrientes disponíveis e dos parâmetros físicos do meio circundante (Cotta et al., 2015).

A predominância de determinadas espécies de microrganismos e a sua atividade metabólica determinam a fase em que se encontra o processo de compostagem (Valente et al., 2009 apud Miller, 1992). Cada grupo microbiológico atinge o seu pico populacional quando as condições ambientais lhe são inteiramente favoráveis. Alguns microrganismos conseguem obter os seus nutrientes essenciais a partir das moléculas complexas, outros só conseguem assimilar compostos simples, enquanto outros ainda são sensíveis à presença de compostos inorgânicos ou orgânicos (Bonfim et al., 2011).

Na compostagem, a atividade microbiana promove um aumento de temperaturas na fase inicial do processo (Figura 1). No início da compostagem, na fase mesófila (temperaturas de até 40°C), predominam os microrganismos bacterianos que são responsáveis pela quebra inicial da matéria orgânica, promovendo a liberação de calor na massa em compostagem. Com o aumento da temperatura para a faixa de 50 a 65°C, os microrganismos mesófilos morrem e ocorre a multiplicação de microrganismos termófilos, responsáveis pela decomposição acelerada da matéria orgânica (Valente et al., 2009).

De acordo com Cooper et al. (2010), a digestão dos resíduos orgânicos feita pelos microrganismos libera macro e micronutrientes como fósforo (P), potássio (K), nitrogênio (N) e cálcio (Ca), que passam da forma orgânica (indisponível para as plantas) para a forma mineral.

Figura 1 - Curva padrão da temperatura durante a compostagem



Fonte: Adaptado de Kiehl, (1985).

Visando aumentar a eficiência da compostagem, podem ser utilizados inóculos microbiológicos que fornecem uma abundante fauna de microrganismos especialmente desenvolvida para quebrar as complexas ligações de um resíduo específico, facilitando o processo e assegurando uma completa degradação dos componentes biodegradáveis do resíduo (Souza, Carmo e Silva, 2019). Entretanto, nos 22 trabalhos experimentais avaliados, apenas quatro utilizaram inoculantes (comerciais ou preparados): Lima et al. (2018), Nord (2013), Paredes Filho e Florentino (2016) e Souza, Carmo e Silva (2019).

De forma geral, os microrganismos que promovem a compostagem (nativos) já estão presentes nos materiais orgânicos utilizados. De acordo com Inácio e Miller (2009), a inoculação objetiva garantir a rápida colonização do composto e conseqüente elevação da temperatura da leira em um menor período de tempo. As maneiras mais simples de promover a inoculação são a introdução de microrganismos selecionados ou a utilização de uma fração da compostagem anterior.

É possível encontrar no comércio inoculantes com uma ou diversas espécies de microrganismos, porém, como afirmam Inácio e Miller (2009), o uso de inoculantes com uma única espécie é visto com reservas visto que a compostagem é um processo em que os microrganismos interagem e competem fortemente no processo de sucessão. Também é possível produzir um inoculante não-comercial como descrito por Souza, Carmo e Silva (2019), que produziram seus próprios inoculantes (EM4) através da captura dos microrganismos. Como vantagens da inoculação, Bonfim et al. (2011) apontam a redução do período de latência, redução do uso de equipamentos e gastos operacionais e a obtenção de um composto final com melhor qualidade devido ao maior teor húmico.

É possível utilizar o composto obtido da vermicompostagem como fonte de inóculo, tendo essa aplicação sido verificada em seis dos 22 trabalhos avaliados: Corrêa, Fonseca e Corrêa (2007), Cotta et al. (2015), Dores-Silva, Landgraf e Rezende (2013), Loureiro et al. (2007), Silva et al. (2002) e Veras e Povinelli

(2004). Entretanto, o monitoramento de compostos em que foram adicionados os inoculantes não deixa clara a eficiência destes como aceleradores de compostagem, sendo necessários estudos mais aprofundados sobre o tema.

3.2.2. Parâmetros químicos

Dentre os trabalhos avaliados, o potencial hidrogeniônico (pH) foi o mais citado nos monitoramentos, como pode ser verificado na Tabela 1:

Tabela 1. Parâmetros mais verificados em trabalhos sobre compostagem de 1999 a 2019

| Referência | Temperatura | Umidade | pH | MO | C/N | C org | C tot | N | CTC |
|--|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Baratta Junior e Magalhães (2010) | x | | x | | x | x | | x | |
| Corrêa, Fonseca e Corrêa (2007) | x | | | | | | | | |
| Cotta et al. (2015) | x | x | x | | x | | x | x | x |
| Dores-Silva, Landgraf e Rezende (2013) | | | x | x | x | x | | x | x |
| Fiori, Schoenhals e Follador (2008) | x | x | x | x | x | | x | x | |
| França et al. (2014) | x | | x | x | x | | | x | x |
| Jahhnel, Melloni e Cardoso (1999) | x | | x | x | x | | | x | |
| Jordão et al. (2017) | x | | | | | | | | |
| Kolling et al. (2013) | | | | | | | | | x |
| Lima et al. (2018) | x | | x | | | | | | |
| Lima Junior et al. (2017) | x | x | x | | x | | | | |
| Loureiro et al. (2007) | x | x | | x | x | x | | | |
| Massukado e Schalch (2010) | | x | x | x | x | x | | x | x |
| Melo et al. (2011) | | | x | x | | | | | x |
| Nord (2013) | x | x | x | | x | x | | x | |
| Novaes et al. (2013) | x | x | x | x | x | x | | x | x |
| Paredes Filho e Florentino (2016) | | x | x | x | x | | | x | x |
| Rodrigues et al. (2015) | x | | x | | x | x | | x | x |
| Salvaro et al. (2007) | x | x | x | | | | | | |
| Silva et al. (2002) | | | x | | x | x | | x | x |
| Souza, Carmo e Silva (2019) | x | x | x | | | | | | |
| Veras e Povinelli (2004) | | | x | x | x | | x | x | |
| Total | 15 | 10 | 18 | 10 | 15 | 8 | 3 | 14 | 9 |
| Frequência (%) | 68 | 45 | 82 | 45 | 68 | 36 | 14 | 64 | 41 |

a) Potencial hidrogeniônico (pH)

Conforme afirmam Valente et al. (2009), uma pilha de compostagem inicialmente produz reações de baixo potencial hidrogeniônico, devido à presença de matérias primas de natureza ácida, como urinas, fezes e sucos vegetais.

Geralmente o pH começa a decair no início do processo de compostagem como consequência da atividade das bactérias formadoras de ácidos que, ao hidrolisarem os materiais orgânicos complexos, originam ácidos orgânicos intermediários. Após algum tempo, o pH volta a subir até que o material se torna alcalino (Souza et al., 2001).

No início da compostagem, o pH pode diminuir até, aproximadamente, 5,0, aumentando de forma gradual conforme o avanço da degradação do composto e estabilizando-se em valores entre 7,0 e 8,0. Os microrganismos que degradam a matéria orgânica apresentam pH entre 6,5 a 8,0 como faixa ideal para sua atividade metabólica (Cooper et al., 2010).

De acordo com Valente et al. (2009), o pH é responsável por regular a atividade dos microrganismos presentes na massa compostada. Com o pH elevado, ocorre um período maior de latência, devido à diminuição da atividade microbiana, dificultando o arranque do processo. Por outro lado, valores baixos de pH não inibem o início do processo, porém, tornam mais lento o aumento da temperatura, visto que inibem o desenvolvimento de microrganismos termófilos.

b) Relação Carbono: nitrogênio (C:N)

Dentre os 22 trabalhos avaliados, a relação C:N foi o segundo parâmetro químico mais utilizado (68%) (Tabela 1). Quando não ocorre a análise deste parâmetro deve ser feita ao menos a estimativa de seu valor analisando os materiais utilizados no processo de compostagem, isso porque a relação entre carbono e nitrogênio (C:N) é um indicador da biodegradabilidade do processo. Valente et al. (2009) também consideram a relação C:N como índice de análise dos níveis de maturação de materiais orgânicos, visto que o tempo de decomposição das matérias primas utilizadas depende da estrutura molecular de cada uma. Pereira Neto (2007) explica que os microrganismos necessitam de macro e micronutrientes para desenvolver suas atividades metabólicas, dentre estes, dois são de extrema importância: Carbono e Nitrogênio.

De acordo com Inácio e Miller (2009), o carbono é a principal fonte de energia, e quando em excesso no processo, ocasiona um aumento do tempo de compostagem. O nitrogênio, que é responsável pela síntese de proteínas, quando em quantidades elevadas, ocasiona uma rápida degradação do material orgânico (Orrico Júnior, Orrico e Lucas Júnior, 2010), ocasionando a perda do mesmo por volatilização da amônia e causando mau cheiro da leira de compostagem. Assim, a quantidade apropriada de nitrogênio e carbono favorece o crescimento e a atividade equilibrada das colônias de microrganismos envolvidos no processo de decomposição, possibilitando a produção de um melhor composto em menos tempo (Cooper et al., 2010).

Tendo em vista que esses microrganismos utilizam o carbono (C) e o nitrogênio (N) numa proporção de 30 partes do primeiro para uma parte do segundo (30/1), essa também será a proporção ideal nos resíduos. No entanto, consideram-se os limites de 26/1 a 35/1 como sendo as relações C:N mais recomendadas para uma rápida e eficiente compostagem (Orrico, Lucas Júnior, Orrico Júnior, 2007).

De acordo com Pereira Neto (2007), as fontes de carbono são, em geral, resíduos palhosos (vegetais secos), enquanto que as fontes de nitrogênio são, por exemplo, legumes e folhosos (frescos), bem como resíduos fecais.

Segundo Cooper et al. (2010), durante a decomposição da matéria orgânica, a relação C:N tende a diminuir, chegando a valores abaixo de 20/1. Ao final do processo de compostagem, na fase de maturação do composto, a temperatura diminui e se estabiliza, a relação C:N apresenta-se em torno de 10 a 12/1.

c) Outras análises químicas

Avaliando trabalhos experimentais, verificou-se também a análise dos macronutrientes: Fósforo (P), Potássio (K) e Magnésio (Mg). Também foi verificada a análise de metais pesados em 24% dos trabalhos, tendo sido analisado ao menos um dos metais pesados presentes na instrução normativa SDA N° 27 (Brasil, 2006): Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn). A carência de estudos avaliando os mecanismos que regem a disponibilidade de

metais pesados para a planta foi uma lacuna encontrada visto que essa linha de estudo enriqueceria o debate sobre a suficiência dos parâmetros controlados pela legislação quando ao uso do composto na agricultura.

O teor de matéria orgânica foi monitorado em 45% dos trabalhos. Verificou-se que em algumas publicações os valores foram bem altos, com teor perto dos 70%, sugerindo que o mínimo de 40% exigido pela legislação é comumente atingido. A capacidade de troca catiônica (CTC) teve também uma frequência de análise de 41% (Tabela 1). Tais parâmetros são importantes considerando o emprego de compostos para a atividade agrícola, principalmente se o uso for para gêneros alimentícios é importante a análise de metais pesados.

3.2.3. *Parâmetros físicos*

Dentre os parâmetros físicos mais relevantes, podem ser monitorados a temperatura, umidade, aeração e granulometria.

a) *Temperatura*

Na análise dos trabalhos experimentais verificou-se que a temperatura foi o parâmetro físico mais monitorado, tendo sido verificada em 68% dos trabalhos analisados (Baratta Junior e Magalhães (2010); Corrêa, Fonseca e Corrêa (2007); Cotta et al. (2015); Fiori, Schoenhals e Follador (2008); França et al. (2014); Jahnel, Melloni e Cardoso (1999); Jordão et al. (2017); Lima et al. (2018); Lima Junior et al. (2017); Loureiro et al. (2007); Nord (2013); Novaes et al. (2013); Rodrigues et al. (2015); Salvaro et al. (2007); Souza, Carmo e Silva (2019)).

A temperatura é tradicionalmente utilizada como parâmetro indicador da eficiência do processo de compostagem (Orrico Júnior, Orrico e Lucas Júnior, 2009), por ser considerada como um reflexo da atividade metabólica dos microrganismos decompositores (Fiori, Schoenhals e Follador, 2008).

De acordo com Pereira Neto (2007), na primeira fase da compostagem, chamada de mesofílica, é observada a predominância de temperaturas moderadas abaixo de 40 °C, perdurando de dois a seis dias. Na segunda fase, termofílica, a atividade metabólica dos microrganismos causa uma elevação da temperatura e o material é degradado mais rapidamente. O valor médio ideal da temperatura, característico da fase termofílica, é de 55°C. Temperaturas superiores a 65°C devem ser evitadas para que não causem a inativação dos microrganismos mineralizadores, responsáveis pela degradação dos resíduos orgânicos (Pereira Neto, 2007).

De acordo com Souza, Carmo e Silva (2019), a eliminação de agentes patogênicos geralmente ocorre em temperaturas acima de 55°C, enquanto as sementes de plantas invasoras são eliminadas em temperaturas próximas a 65°C, o que ressalta a importância da fase termofílica para a maior qualidade do composto gerado no processo.

Segundo Pereira Neto (2007), após a fase termofílica, ocorre uma queda da temperatura para valores da temperatura ambiente, dando início ao resfriamento e maturação do composto orgânico. Ainda de acordo com o autor, pode-se citar como principais fatores que influenciam o bom desenvolvimento da temperatura nas leiras de compostagem, as características da matéria prima, o tipo de sistema utilizado, controle operacional (umidade, revolvimento/aeração, relação C:N e quantidade do material) e as dimensões das leiras.

b) *Umidade*

A umidade foi o segundo parâmetro físico mais monitorado nos experimentos avaliados, o que ocorreu em 45% dos trabalhos (Cotta et al. (2015); Fiori, Schoenhals e Follador (2008); Lima Junior et al. (2017);

Loureiro et al. (2007); Massukado e Schalch (2010); Nord (2013); Novaes et al. (2013); Paredes Filho e Florentino (2016); Salvaro et al. (2007); Souza, Carmo e Silva (2019)).

A umidade do composto é um fator de extrema importância para a vida e eficiência dos microrganismos na compostagem. Segundo Nunes (2009), a umidade no interior da leira deve ser mantida em torno de 60%. Os microrganismos apenas conseguem assimilar nutrientes através das suas paredes celulares quando estes se encontram na forma dissolvida. Ainda segundo o autor, a umidade é um parâmetro fundamental não só no processo de compostagem, mas também na qualidade do produto final.

A umidade, quando em excesso, é capaz de dificultar a circulação do ar dentro do composto. A diminuição excessiva da umidade, ocasiona a redução da atividade microbológica. Segundo Cooper et al. (2010), os limites ideais para a umidade do composto, nos quais os microrganismos decompositores são capazes de desenvolver suas funções, são acima de 40% e abaixo de 60%.

Para Pereira Neto (2007), o controle da umidade na leira de compostagem é simples: se estiver elevada basta adicionar materiais que ajudem a absorver o excesso de umidade, como exemplo o autor cita vegetais secos (folhas, capins, gramas, etc) e lascas de madeiras (de 3 a 5 cm), este último, após peneiramento, ao final do processo poderão ser reaproveitadas em novas leiras na forma de inóculo. Ainda segundo o autor, se a umidade estiver abaixo do ideal, basta adicionar água ou outro material orgânico úmido, em quantidade e proporção adequada ao balanço final da umidade desejada. Segundo Kiehl (1985), o processo de humificação da matéria orgânica é diretamente proporcional a sua capacidade de retenção de água, ou seja, quanto mais humificado o composto mais umidade este pode reter.

Na análise dos trabalhos experimentais ficou clara a necessidade de estudar como fazer um controle mais efetivo do parâmetro umidade que ocorreu em excesso em alguns trabalhos. É importante fazer o “balanço hídrico” considerando a capacidade de drenagem do sistema visto que o excesso de umidade causou, lenta degradação da matéria orgânica com falta de fase termofílica, lixiviação de nutrientes como o Sódio (Na) e o Potássio (K).

c) *Aeração*

Para Cooper et al. (2010), o oxigênio é de vital importância para a oxidação biológica do carbono dos resíduos orgânicos, para que ocorra produção de energia necessária aos microrganismos que realizam a decomposição. Parte dessa energia é utilizada no metabolismo dos microrganismos e o restante é liberado na forma de calor.

Segundo Kiehl (1985), se a concentração de oxigênio se torna extremamente baixa, poderá ocasionar a morte dos microrganismos aeróbios dando lugar aos anaeróbios, que decompõem a matéria orgânica de forma mais lenta, produzem odores e atraem vetores de doenças. De acordo com Pereira Neto (2007), a finalidade da aeração, além de fornecer o oxigênio que a atividade metabólica dos microrganismos demanda, tornando o processo mais rápido do que se fosse apenas anaeróbio, é atuar como agente de controle da temperatura. É necessário fornecer ar a qualquer material em compostagem para assegurar o oxigênio necessário à decomposição orgânica sem que este se torne um fator limitante (Kiehl, 1985).

Por definição, a compostagem é um processo aeróbico. Não se concede, tanto do ponto de vista técnico da eficiência do processo quanto do ponto de vista de impactos e inconvenientes, que a compostagem seja anaeróbia (Pereira Neto, 2007). As leiras podem ser aeradas por meio de revolvimentos manuais ou mecânicos, fazendo com que as camadas externas se misturem às internas, que estão em decomposição mais adiantada (Valente et al., 2009).

O calor resultante da oxidação biológica da matéria orgânica, principalmente devido à oxidação do carbono, é retido na leira, em razão das características isolante-térmicas da matéria orgânica. Durante o

revolvimento, o calor é liberado para o meio ambiente na forma de vapor de água. Nesse momento, faz-se a correção da umidade, por meio da distribuição uniforme de água na massa de compostagem, de modo a repor apenas a perda de água do sistema (Pereira Neto, 2007).

Independentemente da forma como será feita a aeração do composto, é fundamental que haja aeração na fase termofílica, onde a atividade metabólica dos microrganismos é intensa. Nas fases seguintes, a demanda por aeração torna-se menor visto que a atividade microbiana é reduzida. De forma geral não é monitorada a concentração de oxigênio nos compostos, mas a aeração é promovida pelo revolvimento.

d) Granulometria

A Granulometria refere-se ao tamanho das partículas das matérias primas utilizadas no processo de compostagem. A intensidade da decomposição está relacionada à superfície específica do material a ser compostado, sendo que quanto menor a granulometria das partículas, maior será a área que poderá ser atacada e digerida pelos microrganismos, acelerando o processo de decomposição (Valente et al., 2009).

Para Kiehl (1985), dois problemas relacionados à granulometria são matérias primas muito finas ou muito grosseiras. Se finas demais, favorecem a compactação e consequente anaerobiose, além de levar ao intumescimento da leira e excesso de umidade. O autor ainda afirma que as dimensões das partículas devem ter entre um e cinco centímetros.

Assim, para Pereira Neto (2007), os resíduos devem passar por uma correção de tamanho antes de serem introduzidos nas leiras de compostagem. Valente et al. (2009) indicam misturar vários tipos de resíduos orgânicos como sendo a maneira mais adequada para tentar corrigir o tamanho das partículas, favorecendo a homogeneização da massa em compostagem e obtendo assim uma melhor porosidade.

Segundo Pereira Neto (2007), a granulometria ideal favorece outros fatores como a homogeneização da leira, melhoria da porosidade, menor compactação, maior aeração, aumento da área específica de degradação, redução no tempo de compostagem. Apesar de sua importância, o monitoramento da granulometria não é usualmente feito, sendo apenas avaliada no início do processo.

e) Outros aspectos importantes no processo de compostagem

O dimensionamento das leiras também interfere na eficiência do processo. Para Cooper et al. (2010), a forma e a dimensão das leiras variam de acordo com o local. A altura das leiras está diretamente ligada à largura das mesmas, pois leiras muito altas podem provocar compactação da base, e leiras muito baixas são susceptíveis à perda brusca de calor e umidade, o que interfere na qualidade do processo.

Segundo Valente et al. (2009), o tamanho da leira deve ser suficiente para que o calor e a umidade não se dissipem rapidamente e, ao mesmo tempo, permitir uma boa circulação de ar. Os autores citam que a altura de 0,8 m e 1,8 m, mínima e máxima respectivamente, devem ser respeitadas tendo em vista a manutenção de condições adequadas para a compostagem.

Segundo Kiehl (1985), a largura da leira mais comumente utilizada fica na faixa de 2,5 a 3,5 m. Para leiras manejadas mecanicamente, as dimensões recomendadas variam de acordo com o equipamento. Quanto ao comprimento, este pode variar de acordo com a quantidade de matéria prima e espaço disponíveis. Ainda segundo o autor, o formato ideal de uma leira para estações chuvosas é uma pirâmide (secção triangular), pois essa além de possibilitar um melhor escoamento da água, conserva a energia do material no processo. Pelo contrário, as leiras de secção trapezoidal favorecem a infiltração de água.

Em relação à lacuna provocada por parâmetros que não são monitorados, verificou-se que alguns trabalhos consideram os parâmetros vigentes satisfatórios, porém houve sugestões de inclusão da

condutividade elétrica como parâmetro de monitoramento do processo de compostagem, pois esta pode estar elevada em compostos. Em um teste agudo com a espécie de minhoca *Eisenia andrei*, Loureiro et al. (2007), verificaram que o composto apresentava toxicidade e sugeriram a inclusão da condutividade elétrica para monitoramento. Portanto são necessários estudos avaliando as implicações da aplicação de um composto de alta condutividade elétrica analisando a necessidade de incluí-la como fator limitante de qualidade.

3.3. Legislação brasileira em relação a compostagem e correlação com parâmetros de monitoramento

A compostagem é uma das alternativas de tratamento que pode constar do gerenciamento de resíduos sólidos, permitindo o manejo adequado desses resíduos, o que os torna compatíveis com a qualidade e o equilíbrio ambiental, bem como com o desenvolvimento econômico-social, em consonância com o que apresenta a Constituição Federal e a Política Nacional de Meio Ambiente (Pires e Ferrão, 2017). A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) instituída pela Lei nº 12.305/10 (Brasil, 2010) é uma ferramenta fundamental para enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos e aponta a compostagem como a destinação ambientalmente adequada desses resíduos, ressaltando que só se deve destinar ao aterro sanitário o que não apresenta nenhum valor ou utilidade.

A regulamentação da produção, comércio e fiscalização do composto gerado a partir do resíduo orgânico urbano, tendo como denominação fertilizante orgânico, ocorreu a partir do ano de 1982 pela legislação federal nº 6.894/80 (Brasil, 1980) e seu decreto de regulamentação, Decreto nº 86.955/82 (Brasil, 1982a). Os compostos comercializados no Brasil devem atender aos parâmetros apontados na Tabela 2, de acordo com a Portaria nº 1, de 4 de março de 1983, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 1983).

Tabela 2: Valores de parâmetros estabelecidos para compostos comercializados no Brasil.

| Parâmetro | Valor | Tolerância |
|------------------|----------------|------------|
| pH | Mínimo de 6,0 | Até 5,4 |
| Umidade | Máximo de 40% | Até 44% |
| Matéria Orgânica | Mínimo de 40% | Até 36% |
| Nitrogênio Total | Mínimo de 1,0% | Até 0,9% |
| Relação C/N | Máximo de 18/1 | Até 21/1 |

Fonte: Portaria nº 1, de 4 de março de 1983 (Brasil, 1983)

Deve-se ressaltar que o monitoramento do processo de compostagem é uma das formas de garantir a qualidade do composto gerado e que sendo comercializado deverá ser inspecionado e fiscalizado, inclusive por meio de análises realizadas em laboratório próprio ou de terceiros, conforme definido no Decreto Federal nº 86.955, de 18 de fevereiro de 1982 (Brasil, 1982). Há outras legislações relacionadas a inspeção e fiscalização de biofertilizantes, nos quais se enquadra o composto, tais como a Portaria nº 84, de 29 de março de 1982 (Brasil, 1982b) e a Portaria Federal nº 1, de 04 de março de 1983 (Brasil, 1983). Considera-se ainda que desde 08 de setembro de 2005, as especificações da produção de fertilizantes orgânicos submetem-se aos dispositivos da Instrução Normativa nº 23 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2005). Entretanto, apenas a Portaria nº 1 é específica em relação a parâmetros que são usualmente utilizados no monitoramento do processo de compostagem.

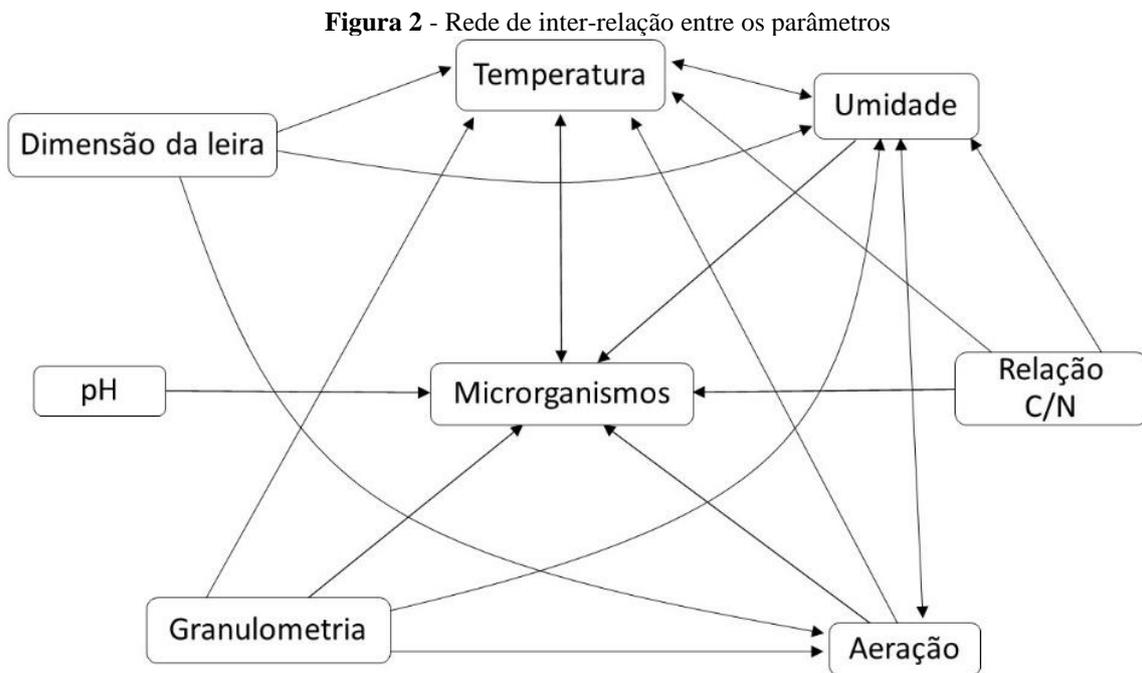
Deve-se considerar ainda que no dia 03 de outubro de 2017 entrou em vigor a resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA nº 481, que estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos (Brasil, 2017). Essa

resolução ressalta a necessidade de acompanhamento da temperatura no processo de compostagem ao menos uma vez ao dia durante o período de higienização e demanda a elaboração de relatórios de controle da temperatura e da operação dos sistemas de compostagem. A resolução também aponta que a relação carbono: nitrogênio ao final do processo de compostagem deve ser igual ou inferior a 20:1. Apesar de não haver menção direta ao teor de umidade e a aeração no processo de compostagem, no inciso I do Artigo nº 10, tais parâmetros são indicados indiretamente visto que é apontada a necessidade de adoção de medidas que minimizem a quantidade de lixiviados produzidos, bem como a emissão de odores.

Tais abordagens nos decretos, portarias e resolução demonstram a importância do monitoramento do processo de compostagem além do acompanhamento da biodigestão mas refletindo, direta e indiretamente, na qualidade do composto gerado.

3.4. Inter-relações entre parâmetros

Todos os parâmetros até aqui apresentados são de extrema importância para o adequado controle do processo de compostagem, visto que todos eles interferem seja na velocidade da decomposição, seja na qualidade do produto final. O descontrole de um ou outro parâmetro pode acarretar na interferência dos demais. Na Figura 2 é apresentada a inter-relação dos parâmetros de forma resumida.



Os microrganismos são os mais sensíveis às variações dos parâmetros. As variações de pH fora das faixas recomendadas de 6,0 a 8,0 inibem o pleno desenvolvimento metabólico dos microrganismos, fazendo com que o aumento de temperatura seja mais lento (Cooper et al. 2010).

Sabendo que os microrganismos metabolizam a matéria orgânica proporcionalmente a 30 partes de carbono para 1 parte de nitrogênio, a relação C:N torna-se um parâmetro limitante pois estes nutrientes são, respectivamente, fonte de energia e composto constituinte de enzimas. Além disso, a diversificação de matérias

utilizadas para a montagem das leiras é importante não só para ajudar a alcançar a relação C:N recomendada como também contribui com a qualidade nutricional do composto final.

A importância do controle da temperatura está, dentre outros, no fato de que se a temperatura não atingir valores ideais em cada fase do processo, patógenos podem não ser eliminados pelas altas temperaturas ou microrganismos decompositores podem morrer pelo aumento excessivo e equivocado da temperatura em fases em que esta deveria ser mais branda. Além disso, temperaturas muito altas provocam a redução da umidade do composto através da evaporação. Revolvimentos podem ser feitos na leira de compostagem como forma de promover a redução da temperatura além de promover a entrada de oxigênio (aeração).

A temperatura também sofre influência da umidade, da granulometria e da dimensão das leiras. Esta última deve apresentar dimensões suficientes para evitar tanto as trocas de temperatura e umidade com o ambiente quando subdimensionadas, quanto problemas de compactação e de circulação de ar.

O excesso de umidade pode tornar o ambiente de compostagem anaeróbico, pois diminui a circulação de ar dentro da leira, situação que ocorre quando toda a porosidade é preenchida por água, ocasionando a morte dos microrganismos aeróbicos que necessitam de oxigênio para realizar suas atividades metabólicas. Por outro lado, a escassez de água limita a absorção dos nutrientes pelos microrganismos, visto que eles apenas são capazes de assimilar nutrientes por meio de suas paredes celulares na forma dissolvida.

A umidade desempenha um papel importante tanto no processo de compostagem quanto na qualidade final do produto. Uma leira com alta umidade oferece maior dificuldade no manuseio do que uma leira seca, além disso, quando o composto se apresenta com alta umidade pode desenvolver mau cheiro e perdas de nitrogênio por volatilização e percolação de chorume.

Quando a compostagem é conduzida na presença de oxigênio, os compostos liberados para o meio ambiente são o gás carbônico (CO_2) e o vapor de água. Se o processo é conduzido com deficiência em oxigênio, são liberados para o meio ambiente amônia (NH_3), metano (CH_4) e gás sulfídrico (H_2S), ocasionando mau cheiro, o que indica falha no processo. A emissão de odores poderá ocorrer caso o sistema não seja manejado de maneira adequada. A anaerobiose é a principal causa da emissão de odores, e está associada geralmente ao excesso de umidade, à falta de aeração, à geometria da leira e à granulometria do composto.

A granulometria é outro fator que influencia diretamente na umidade e na aeração. Quanto menor for o tamanho das partículas, maior será a dificuldade para o ar circular dentro da leira e, conseqüentemente, maior será também a dificuldade em reduzir a umidade do composto através da aeração. No entanto, partículas de grandes dimensões prejudicam a degradação dos microrganismos devido à menor área específica para ser metabolizada.

O dimensionamento correto das leiras é essencial, pois leiras altas (acima de 1,8 m) podem alcançar valores muito elevados de temperatura, enquanto leiras muito baixas (abaixo de 0,8 m) apresentam maior troca de calor com o ambiente, e em alguns casos podem não aquecer o suficiente para eliminar patogênicos. Leiras estreitas e baixas apresentam maior perda de umidade, tornando-se uma estratégia de manejo para a eliminação do excesso de água na fase inicial do processo. O alcance da temperatura termofílica é essencial para que haja a eliminação de patógenos do composto, estando diretamente relacionada com a dimensão das leiras, tipo de material utilizado, entretanto, o risco associado e formas de manejo adequadas para controle ainda não estão bem elucidadas.

3.5. Desafios e inovações para o processo de compostagem

A instalação de usinas de compostagem é um movimento relativamente recente no Brasil, proveniente da década de 1970, e ainda há casos de deficiência técnica e operacional. Deve-se ressaltar ainda que o tratamento de resíduos orgânicos no país não ocorre em grande escala, portanto, há muitos desafios e limitações

a serem superados, bem como há espaço para inovações.

Em centros urbanos há a limitação de área para o tratamento em leiras, com isso sistemas compactos, sem o uso de aditivos químicos, despertam interesse, motivando o investimento em novos modelos e equipamentos.

O excesso de umidade é um dos desafios a serem vencidos no processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos, visto que interfere diretamente na eficiência do processo devido à lenta degradação da matéria orgânica com ausência da fase termofílica, reduzindo também a qualidade do composto devido à lixiviação de nutrientes como o sódio e o potássio, e ainda gera um chorume cuja destinação correta torna-se um problema.

Outra lacuna é a carência de estudos avaliando os mecanismos que regem a disponibilidade de metais pesados para a planta, essa linha de estudo enriqueceria o debate sobre a suficiência dos parâmetros controlados pela legislação quanto ao uso do composto na agricultura. Alguns trabalhos consideram os parâmetros vigentes satisfatórios, porém, Loureiro et al. (2007) verificaram em teste agudo com a espécie de minhoca *Eisenia andrei* que o composto apresenta toxicidade, tendo sido sugerida a inclusão da condutividade elétrica. A inserção da condutividade elétrica como um parâmetro de monitoramento foi apontada por alguns autores tendo sido ressaltado que os valores apresentados estavam superiores ao que normalmente ocorrem no solo. Portanto, há necessidade de estudar as implicações da aplicação de um composto de alta condutibilidade elétrica analisando a necessidade de incluí-la como fator limitante de qualidade.

Quanto aos trabalhos que utilizaram inoculantes, não ficou clara a eficiência como aceleradores de compostagem, portanto, recomendam-se pesquisas aprofundadas sobre a melhoria da eficiência do processo, com foco na sucessão microbiológica, no envolvimento de comunidades microbiológicas e em suas atividades, durante as fases específicas da compostagem, que ainda são pouco conhecidas.

Para a compostagem em pequena escala recomenda-se avaliar com mais profundidade o efeito de não ser alcançada a temperatura termofílica com a conseqüente extinção dos patógenos, associada, portanto, ao risco de contaminação de quem manuseia o composto e do meio.

Finalmente, há uma carência do levantamento de dados que mostrem a realidade do país em termos de aplicação da compostagem, escala e efeitos, bem como de qual é a contribuição real em massa de composto produzido por cada tipo de configuração de tratamento utilizada, além da qualidade do composto produzido.

4. Conclusão

A compostagem é uma técnica que objetiva o tratamento e a estabilização dos resíduos orgânicos, gerando como produto final um composto rico em macro e micronutrientes capaz de exercer eficientes melhoras nas propriedades físico-químicas do solo, que resulta no aumento da produtividade. Além disso, o uso do composto orgânico na agricultura reduz o consumo de fertilizantes comerciais (o que resulta em menor custo de produção), diminuindo a degradação química, física e biológica do solo, preservando a qualidade da água e a sanidade das culturas.

Por se tratar de um processo biológico, toda variação que altere a atividade dos microrganismos resulta em interferência no processo de compostagem. Os principais parâmetros que quando alterados podem influenciar na compostagem são: a temperatura, umidade, pH, relação C:N, aeração, granulometria, dimensão das leiras e os microrganismos envolvidos no processo. Destes, de acordo com o levantamento, os mais utilizados para monitoramento são o pH, como parâmetro químico, e a temperatura e umidade como parâmetros físicos.

Entretanto, conduzir o manejo em condições ótimas, bem como inter-relacionar estas condições não é uma tarefa fácil, visto que as matérias primas apresentam propriedades distintas. Logo, na tentativa de balancear a relação C:N indica-se a mistura de diferentes matérias primas respeitando-se os limites de 26 a

35:1, que favorece a homogeneização do composto e o desenvolvimento dos microrganismos, beneficiando também a aeração do composto devido a uma maior porosidade. A faixa de pH considerada ótima para o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela compostagem situa-se entre 5,5 e 8,5, uma vez que a maioria das enzimas se encontram ativas nesta faixa. Inúmeras reações químicas irão regular o pH, gerando um produto final entre 7,0 e 8,5.

A temperatura apresenta valores ótimos para cada fase da compostagem, na fase mesofílica são esperados valores abaixo de 40°C, na fase termofílica uma temperatura média de 55°C, e na fase de maturação espera-se que a temperatura diminua e passe a variar conforme a temperatura ambiente.

Os limites ideais para a umidade do composto, nos quais os microrganismos decompositores são capazes de desenvolver suas funções, são acima de 40% e abaixo de 60%.

É importante ressaltar que esses parâmetros indicam limites operacionais ao processo, ou seja, a má condução técnica da compostagem pode acarretar desde a produção de um composto final de baixa qualidade até a impossibilidade de se realizar a compostagem.

Embora a compostagem apresente diversos benefícios, sua aplicação no dia a dia urbano é dificultada pela falta de incentivos e conhecimento. Ainda que os houvesse, muitas barreiras ainda precisam ser vencidas para que as pessoas implantem esta técnica em domicílios urbanos. Por exemplo, a atração de vetores, a geração de odor da composteira ou a exigência de tempo para o manejo desencorajam moradores a implantarem esta prática. Por outro lado, as infraestruturas precárias da maioria dos municípios impedem o cidadão de destinar corretamente seus resíduos orgânicos. Devido à falta de coleta seletiva, em alguns municípios a única opção de descarte dos resíduos orgânicos é o lixo comum. Em vista disso, é preciso além de incentivar o uso de compostagem doméstica, apoiar iniciativas de compostagem municipal (a qual é prevista em lei) e comunitária, para poder alcançar a totalidade dos benefícios que a prática potencializa.

5. Referências

Baratta Junior, A. P., Magalhães, L. M. S. (2010). Aproveitamento de resíduos de podas de árvores da cidade do Rio de Janeiro para compostagem. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 8, n.1, p. 113-125. Disponível em: < http://www.unemat.br/revistas/rcaa/docs/vol8/11_artigo_v8.pdf > Acesso em: fevereiro de 2020.

Bonfim, F. P. G., Honório, I. C. G., Reis, I. L., Pereira, A. J., Souza, D. B. (2011). **Caderno dos Microrganismos Eficientes (EM). Instruções práticas sobre uso ecológico e social do EM**. 2ª Edição, 2011.

Brasil. (1980). **Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980**. Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, e dá outras providências. Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília.

Brasil. (1982a). **Decreto nº 86.955, de 18 de fevereiro de 1982**. Regulamenta a Lei n. 6894, de 16 de dezembro de 1980, alterada pela Lei n. 6934, de 13 de julho de 1981, que dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e pelo Decreto-Lei n. 1899, de 1981, que institui taxas relativas às atividades do Ministério da Agricultura. Presidência da República, Câmara dos Deputados. Brasília.

Brasil. (1982b). **Portaria MA nº 84, de 29 de março de 1982**. Aprova as disposições, em anexo, sobre exigências, critérios e procedimentos a serem utilizados pela inspeção e fiscalização da produção e do comércio

de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura e atribuí à Secretaria de Fiscalização Agropecuária as incumbências de baixa normas relativas a garantias, especificações, tolerâncias e procedimentos para coleta de amostras de produtos e de adotar os modelos de documentos e formulários previstos nas disposições aprovadas por esta Portaria. Presidência da República, Ministério da Agricultura e do Abastecimento.

Brasil. (1983). **Portaria nº 01, de 04 de março de 1983**. Aprova normas sobre especificações, garantias, tolerâncias e procedimentos para coleta de amostras de produtos, e os modelos oficiais a serem utilizados pela inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura. Presidência da República, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Secretaria de Fiscalização Agropecuária.

Brasil. (2005). **Instrução Normativa SDA nº 23 de 31 de agosto de 2005**. Aprova as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Defesa Agropecuária. Publicado no DO em 08 de setembro de 2005.

Brasil. (2006). **Instrução Normativa SDA nº 27, de 05 de junho de 2006**. Dispõe sobre a importação ou comercialização, para produção, de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Defesa Agropecuária.

Brasil. (2010). **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília.

Brasil. (2017). **Resolução CONAMA nº 481, de 03 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. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente.

Cooper, M., Zanon, A. R., Reia, M. Y., Morato, R. W. (2010). **Compostagem e reaproveitamento de resíduos orgânicos agroindustriais: teórico e prático**. Piracicaba: ESALQ – Divisão de biblioteca, 35p: il. (Série Produtor Rural, Edição Especial).

Corrêa, R. S., Fonseca, Y. M. F., Corrêa, A. S. (2007). Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, vol. 11, n. 4, p. 420-426. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000400012>.

Cotta, J. A. O., Carvalho, N. L. C., Brum, T. S., Rezende, M. O. O. (2015). Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. **Eng. Sanit. Ambient.** [online], vol. 20, n. 1. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000111864>.

Dores-Silva, P. R., Landgraf, M. D., Rezende, M. O. O. (2013). Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. **Quím. Nova**, vol. 36, n. 5, p. 640-645. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422013000500005>.

Elsevier. (2019). Mendeley. Software gerenciador de referências. Versão 1.19.4.

Fiori, M. G S.; Schoenhals, M.; Follador, F. A. C. (2008). Análise da evolução tempo-eficiência de duas composições de resíduos agroindustriais no processo de compostagem aeróbia. **Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal**, v. 5, n. 3, p. 178-191, set/dez.

França, J. R., Rodrigues, A. C., Flores, C. E. B., Silveira, R. B., Barros, G., Pretto, P. R. P., Borba, w. F., Kemerich, P. D. C. (2014). Tratamento de resíduos orgânicos provenientes de restaurante universitário: decomposição biológica monitorada. **Revista Monografias Ambientais – REMOA**, v. 13, Edição Especial, p. 2920-2927. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/2236130810936>.

Inácio, C. T.; Miller, P. R. M. (2009). **Compostagem: Ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos**. Embrapa Solos. 154p.: il. Rio de Janeiro.

IPEA. (2012a). Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Relatório de Pesquisa, Brasília.

IPEA. (2012b). Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris e a questão dos catadores**. Comunicados do Ipea, nº 145. 25 de Abril.

Jahnel, M. C., Melloni, R., Cardoso, E. J. B. N. (1999). Maturidade de composto de lixo urbano. **Scientia Agricola**, v. 56, n. 2, p. 301-304. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161999000200007>.

Jordão, M. D. L., Paiva, K., Firmo, H. T., Inácio, C. T., Rotunno Filho, O. C., Lima, T. A. (2017). Low-cost automatic station for compost temperature monitoring. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 11, p. 809-813. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n11p809-813>.

Kiehl, E. J. (1985). **Fertilizantes Orgânicos**. Editora Agronômica Ceres, 492p.: il. Piracicaba.

Kolling, D. F., Busnello, F. J., Costa, R. D., Moura, L. C. (2013). Processo de compostagem em pequena escala com diferentes fontes de resíduos. **Cadernos de Agroecologia**, v. 8, n. 2, p. 1-5.

Lima, T. A., Motta, L. S. M., Firmo, H. T., Hester, W. J., Brito, P. F., Pertel, M. (2018). Compostagem experimental de resíduos orgânicos do restaurante Universitário na Universidade Federal do Rio de Janeiro. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1.

Lima Junior, R. G. S, Mahler, C. F., Dias, A. C., Luz Junior, W. F. (2017). Avaliação de novas práticas de compostagem em pequena escala com aproveitamento energético. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 361-370. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016159687>.

Loureiro, D. C., Aquino, A. M., Zonta, E., Lima, E. (2007). Compostagem e vermicompostagem de resíduos domiciliares com esterco bovino para a produção de insumo orgânico. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 42, n. 7, p. 1043-1048. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000700018>.

Massukado, L. M., Schalch, V. (2010). Avaliação da qualidade do composto proveniente da compostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares. **Revista DAE**, v. 58, p. 9-15. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.051>.

Melo, A. M., Silva, F. L. H., Gomes, J. P., Alves, N. M. C. (2011). Aproveitamento de resíduos de restaurante na obtenção de adubo orgânico para produção de alface e mudas de maracujazeiro e mamoeiro. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, Edição Especial, p. 325-335.

Miller, F. C. (1992). Composting as a process based on the control of ecologically selective factors. In: **Meeting, F.B. Soil Microb. Ecol.**, 18: 515-543.

Nord, E. (2013). Qualidade química na compostagem de resíduos urbanos com inoculação biológica. **Revista de Estudos Sociais**, v.15, n. 30, p. 149-174.

Novaes, J. P., Massukado, L. M., Lima, R. F. F., Araujo, E. G., Couto, J. C. (2013). Avaliação do processo de compostagem dos resíduos sólidos orgânicos produzidos no Instituto Federal de Brasília - Campus Planaltina. **Cadernos de Agroecologia**, v. 8, p. 1-5.

Nunes, M. U. C. (2009). Compostagem de Resíduos para Produção de Adubo Orgânico na Pequena Propriedade. **EMBRAPA, Circular Técnica 59**. Aracaju – SE.

Orrico, A. C. A.; Lucas Júnior, J.; Orrico Júnior, M. A. P. (2007). Alterações físicas e microbiológicas durante a compostagem dos dejetos de cabras. **Eng. Agríc.**, v.27, p.764-772.

Orrico Júnior, M. A. P., Orrico, A. C. A., Lucas Júnior, J. (2009). Compostagem da fração sólida da água residuária de suinocultura. **Eng. Agríc.**, v.29, n.3, p.483-491.

Orrico Júnior, M. A. P., Orrico, A. C. A., Lucas Júnior, J. (2010). Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves. **Eng. Agríc.**, v.30, p.538-545.

Paredes Filho, M. V., Florentino, L. A. (2016). Utilização de micro-organismos eficazes (EM) no processo de compostagem. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.10, n. 4, p. 375-382. DOI: <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2016v10n4p375-382>

Pereira Neto, J. T. (2007). **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Ed. UFV, 81 p., il, 21cm. Viçosa – MG.

Pires, I. C. G., Ferrão, G. E. (2017). Compostagem no Brasil sob a perspectiva da legislação ambiental. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 9, n. 1, p. 1-18.

Rodrigues, A.C., França, J.R., Silveira, R.B., Silva, R.F., Ros, C.O., Kemerich, P.D.C. (2015). Compostagem de resíduos orgânicos: eficiência do processo e qualidade do composto. **Enciclopédia biosfera**, v. 11, n. 22, p.759-770. DOI: http://dx.doi.org/10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2015_116.

Salvaro, E., Baldin, S., Costa, M. M., Lorenzi, E. S., Viana, E., Pereira, E. B. (2007). Avaliação de cinco tipos de minicomposteiras para domicílios do bairro Pinheirinho da cidade de Criciúma/SC. **Com Scientia**, v. 3, n. 3, p. 12-21.

Silva, C. D., Costa, L. M., Matos, A. T., Cecon, P. R., Silva, D. D. (2002). Vermicompostagem de lodo de esgoto urbano e bagaço de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 487-491. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000300018>.

Souza, F. A., Aquino, A. M., Ricci, M. S. F., Feiden, A. (2001). Compostagem. Seropédica: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - **Embrapa Agrobiologia**, 11 p. (Boletim Técnico, nº 50).

Souza, L. A., Carmo, D. F., Silva, F. C. (2019). Uso de microrganismos eficazes em compostagem de resíduos sólidos orgânicos de feira e restaurante. **Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula – TEC-USU**, v. 2, p. 42-54.

Teodoro, M. S., Santos, F. J. S., Lacerda, M. N., Araújo, L. M. S. (2015). Utilização de Palhadas de Adubos Verdes em Compostos Orgânicos. **Documentos / Embrapa Meio-Norte**, 234, 41 p, ISSN 0104-866X.

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. (2009). Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de zootecnia**, vol. 58 (R), p. 59-85.

Veras, L. R. V., Povinelli, J. (2004). A vermicompostagem do lodo de lagoas de tratamento de efluentes industriais consorciada com composto de lixo urbano. **Eng. Sanit. Ambient**, v. 9, n. 3, p. 218-224. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522004000300008>.

Zago, V. C. P., Barros, R. T. V. (2019). Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade. **Eng. Sanit. Ambient**. [online], vol.24, n.2, p.219-228.



Direitos do Autor. A Revista Brasileira de Meio Ambiente utiliza a licença Creative Commons - CC Atribuição Não Comercial 4.0 CC-BY-NC (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>), no qual, os artigos podem ser compartilhados desde que o devido crédito seja aplicado de forma integral ao autor (es) e não seja usado para fins comerciais.