

Eixo Temático: Inovação e Sustentabilidade

**COMPOSTAGEM COMO ALTERNATIVA DE RECICLAGEM DA MATÉRIA
ORGÂNICA**

COMPOSITION AS A RECYCLING ALTERNATIVE OF THE SUBSTANCES

Diana Fernanda Caicedo Chaguezac, Matheus Da Silva Civeira, Ronei Tiago Stein e Rejane Maria
Candiota Tubino

RESUMO

A compostagem é um processo de transformação de matéria orgânica em adubo orgânico (composto orgânico). Logo, este processo é considerado uma espécie de reciclagem dos resíduos orgânico, pois o adubo gerado pode ser usado na agricultura ou em jardins e plantas. A compostagem é realizada com o uso dos próprios microrganismos presentes nos resíduos, juntamente com algumas condições ideais, como por exemplo temperatura, aeração e umidade. Este capítulo apresenta um revisão bibliográfica a respeito da compostagem, apresentando principalmente as vantagens e desvantagens desta técnica; os fatores que interferem na compostagem; os tipos de compostagem; e um panorama geral de como a compostagem ocorre em alguns países do mundo e em território Nacional. Por fim, apresenta-se dois estudos de caso de como a compostagem pode se tornar uma fonte de renda, sendo o primeiro estudo de caso em um Órgão Público e o segundo em uma empresa particular, ambos localizados no estado do Rio Grande do Sul/Brasil.

Palavras-chave: resíduos orgânicos, compostagem, estudos de caso.

ABSTRACT

Composting is a process of transformation of organic matter into organic fertilizer (organic compost). Therefore, this process is considered a kind of recycling of organic waste, because the fertilizer generated can be used in agriculture or in gardens and plants. Composting is carried out using the microorganisms present in the waste, along with some ideal conditions, such as temperature, aeration and humidity. This chapter presents a literature review on composting, presenting mainly the advantages and disadvantages of this technique; Factors that interfere with composting; Types of compost; And an overview of how composting occurs in some countries of the world and in national territory. Finally, we present two case studies of how composting can become a source of income, being the first case study in a Public Organ and the second in a private company, both located in the state of Rio Grande do Sul / Brazil.

Keywords: organic waste, composting, case studies.

1 INTRODUÇÃO

O aumento populacional contribuiu para o aumento da demanda por alimentos, consequentemente aumentou também a geração de resíduos em países em desenvolvimento a matéria orgânica representa entre o 40-70% em peso de resíduos sólidos urbanos gerados apresentando-se como uma problemática para atingir de maneira urgente. A compostagem se apresenta como uma maneira de destinar corretamente os resíduos orgânicos, evitando que estes se acumulem nos aterros sanitários, afeitando a vida útil destes e acarretando a proliferação de mau-cheiro, liberação de gás metano (23 vezes mais nocivo que o CO₂) e aumento dos lixiviados (chorume).

Segundo Chermont (2000), em função das sérias dificuldades financeiras que os municípios brasileiros de pequeno porte (com menos de 20.000 habitantes) vêm enfrentando, éstos não podem desprezar as oportunidades de gerar recursos e a necessidade de atender à legislação ambiental. Dentre as oportunidades reais existentes, a reciclagem e a compostagem dos resíduos sólidos começam a ser vistas como alternativas factíveis. No entanto, um dos principais entraves para a implantação de processos de compostagem, principalmente nesses municípios, é a alegação de necessidade de elevados investimentos para a implantação da central de triagem, devido à falta ou ineficiência do programa de coleta seletiva.

Porém, observa-se que das poucas Centrais de Triagem e Compostagem implantadas no país, a grande maioria encontra-se paralisada ou mesmo desativada, o que tem sido atribuído à falta de conhecimento acerca do processo, fato que tem contribuído para o desestímulo da prática de reciclagem de matéria orgânica no Brasil.

As chamadas Centrais de Triagem e Compostagem de baixo custo geralmente são constituídas de uma área de descarga dos resíduos coletados composta por fosso, pólipo e moega; uma área de triagem composta por esteira rolante, através da qual é feita a retirada manual dos recicláveis e em algumas unidades é realizada em seguida a trituração da suposta fração orgânica, sendo encaminhada aos pátios de compostagem. O processo de triagem realizado em tais centrais necessita de intensa mão de obra manual. Esta talvez seja a fase mais problemática do sistema, seja pelo número de pessoas ou pela baixa qualidade do material triado, haja vista a grande quantidade de inertes presentes nas leiras de compostagem.

No Brasil, foi promulgada a Lei 12.305 em 2010, a qual representou um grande avanço na área de Resíduos Sólidos, tendo como princípio a responsabilidade compartilhada entre produção (toda cadeia produtiva), coleta, destino final e inclusão social dos catadores. Obriga-se o poder público de todas as esferas da União, a planejar o gerenciamento dos Resíduos Sólidos. Acorda-se aqui, novos conceitos como "logística reversa", insere-se conceitualmente a prática dos cinco "Rs" Repensar, Reduzir, Reutilizar, Reciclar e Recusar.

2 PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Kiehl (1985) afirma que desde os mais recuados tempos vem o agricultor utilizando-se dos restos orgânicos, tanto vegetais como animais, como um material para ser incorporado ao solo com o intuito de favorecer o desenvolvimento das plantas e aumentar a produção agrícola. O conhecimento desse fato tem levado o agricultor a utilizar, das mais variadas maneiras, os restos orgânicos como fertilizadores de suas terras.

Porém, embora a compostagem seja praticada desde a História Antiga, foi somente a partir de 1920, que o fitopatologista inglês Sir Albert Howard desenvolveu em Indore, na Índia, uma técnica para fabricar o fertilizante que os nativos daquele país obtinham de maneira empírica. (KIEHL, 1985). A partir dessa época, foram sendo desenvolvidos diversos métodos, sendo alguns patenteados. O objetivo dessa tecnologia era mecanizar o processo o máximo possível para reduzir a mão de obra empregada que, no processo Indore, era muito

grande e onerosa. (CAMPOS, 1998).

A compostagem é uma técnica idealizada para se obter mais rapidamente e em melhores condições a desejada estabilização da matéria orgânica. (KIEHL, 1985). De acordo com Fernandes e Silva (2006), a compostagem pode ser definida como uma biooxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de CO₂, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável. Portanto, é um processo biológico, e para que se realize de maneira satisfatória, é necessário que alguns parâmetros físico-químicos sejam respeitados, permitindo que os microrganismos encontrem condições favoráveis para transformarem a matéria orgânica.

Segundo Kiehl (1998), as fases pelas quais a matéria-prima passa até ser decomposta totalmente são:

1. A primeira fase, também chamada de fitotóxica, é marcada pelo início da decomposição da matéria orgânica que se caracteriza pelo desprendimento de calor, vapor d'água e CO₂. Os materiais crus possuem reação ácida, assim como dejeções sólidas e líquidas dos animais e humanas e, portanto, no início da decomposição biológica desenvolvem-se traços de diversos ácidos minerais e ácidos orgânicos, principalmente o ácido acético e outras toxinas danosas às plantas, componentes que dão ao material, propriedades de fitotoxicidade. Fernandes e Silva (2006) afirmam que nesta etapa há a proliferação de diversos microrganismos mesófilos (15 - 43°C) que vão se sucedendo de acordo com as características do meio. E, de acordo com Kiehl (1985), nesta fase mesófila predominam bactérias e fungos produtores de ácidos.
2. A segunda fase, também chamada de semicura ou bioestabilização, há a elevação gradativa da temperatura, resultante do processo de biodegradação, a população de mesófilos diminui e os microrganismos termófilos (40 - 85°C) proliferam com mais intensidade. A população termófila é extremamente ativa, provocando intensa e rápida degradação da matéria orgânica e maior elevação da temperatura, o que elimina os microrganismos patogênicos. (FERNANDES; SILVA, 2006). A população dominante nesta fase é de actinomicetos, bactérias e fungos termófilos ou termotolerantes. (KIEHL, 1985). Ao completar esta fase o composto deixa de ser danoso às plantas, porém, ainda não apresenta as características e propriedades ideais.
3. A terceira fase, denominada de maturação ou humificação, quando o substrato orgânico foi em sua maior parte transformado. A população termófila se restringe, a atividade biológica global se reduz de maneira significativa e os mesófilos se instalam novamente. Nesta fase, a maioria das moléculas facilmente biodegradáveis foi transformada e o composto apresenta odor agradável (PROSAB, 1999). Corresponde ao estágio final da degradação da matéria orgânica, quando o composto propriamente dito adquire as propriedades físicas, químicas, físico-químicas e biológicas desejáveis. (KIEHL, 1998).

É válido ressaltar que, durante a fase de maturação, as necessidades do processo de compostagem são diferentes das necessidades da fase termófila, pois é baixa a atividade microbiológica, reduzindo-se a necessidade de aeração e havendo predominância de reações de polimerização de moléculas de ácidos húmicos e fúlvicos (GONÇALVES, 2007).

Nota-se que, ao final do processo de degradação da matéria orgânica há a formação de um produto que pode ser aplicado ao solo para melhorar suas características, sem ocasionar riscos ao meio ambiente.

Todavia, não se pode considerar que o composto produzido é um adubo ou fertilizante, pois não possui a quantidade de macronutrientes exigida pelas especificações agrícolas. O composto geralmente contém uma quantidade total de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) entre 1,5 e 2,5% do peso, enquanto um adubo deve ter no mínimo 24%, ou seja, uma diferença de doze vezes. (TENÓRIO e ESPINOSA, 2004).

Sob o ponto de vista industrial e/ou comercial, Schalch (1995, apud CAMPOS, 1998) cita algumas vantagens deste processo, tais como: possibilidade de recuperação da matéria-prima (reciclagem do lixo); uma boa localização da usina possibilita reduzir o transporte do lixo; como o processo pode ocorrer em ambientes fechados, a ação das condições meteorológicas não influirá no mesmo; os rejeitos (que sempre vão existir) podem ser dispostos em aterros sanitários sem problemas; a instalação da usina de compostagem não causa problemas de poluição atmosférica ou hídrica; pouca mão de obra especializada é necessária para o funcionamento do processo; comparando-se com a incineração, o processo de compostagem tem custos mais reduzidos.

2.1 VANTAGENS DA COMPOSTAGEM

As figuras, tabelas e quadros devem estar alinhados com as margens laterais da página. Posicione a legenda das figuras, tabelas e quadros acima, em fonte Times New Roman, tamanho 12, alinhado à esquerda, espaçamento do texto 1,0 (simples), com um espaço entre a legenda e a figura, tabela ou quadro. Caso houver fonte, esta deve estar em fonte Times New Roman, tamanho 10, alinhado à esquerda, espaçamento do texto 1,0 (simples), com um espaço entre a figura, tabela ou quadro e a fonte. A seguir, apresentam-se exemplos para a formatação de figuras, tabelas e quadros.

Segundo Lelis e Pereira Neto (2001b), a viabilidade de Centrais de Triagem e compostagem pode ser dada através dos seguintes motivos:

- A produção, na maioria dos municípios brasileiros, de um resíduo urbano que apresenta grande potencial para reciclagem, tanto de materiais inertes quanto de resíduos orgânicos;
- O elevado teor de matéria orgânica presente na massa de RSU, o que reforça a necessidade de adoção de sistemas de tratamento que contemplem essa fração;
- A real possibilidade de reintrodução, no processo, dos materiais recicláveis, proporcionando melhorias na economia;
- A geração de empregos diretos (no sistema de tratamento) e indiretos, em face, principalmente da comercialização dos materiais recicláveis e do uso do composto e;
- Pelo fato de tratar-se de uma concepção de projeto que estimula a participação da sociedade, no exercício de sua cidadania na busca de uma solução para o problema da disposição inadequada do lixo.

2.2 DESVANTAGENS DA COMPOSTAGEM

Como desvantagem, Schalch (1995 apud CAMPOS, 1998) cita: é um método de disposição parcial (aproximadamente 50% dos resíduos não são aproveitados para a produção do composto), sendo necessárias instalações complementares (incinerador, aterro sanitário); a importância de que exista mercado para o composto é crucial. Flutuações excessivas no preço do composto podem comprometer o andamento das usinas, sendo então condição principal para este método a garantia de existência de consumidores para o material produzido.

Com efeito, a compostagem é um processo de tratamento de resíduos sólidos orgânicos com grande flexibilidade operacional, combinando-se baixo custo e alta eficiência num só sistema. (RUSSO, 2003).

De acordo com Gray e Sherman (1969, apud EPSTEIN, 1997), muitos fatores estão envolvidos, quase todos inter-relacionados, impedindo, assim, que este processo ecológico complexo seja submetido a uma análise científica rigorosa por muitos anos. Alguns destes fatores desempenham um maior papel no processo enquanto outros podem influenciar na sua

direção ou extensão.

3 FATORES QUE INTERFEREM NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Dentre os principais fatores que influenciam a compostagem podem-se citar: natureza do substrato, temperatura, aeração, umidade, relação C/N, granulometria e pH. A seguir será apresentado uma descrição breve de cada um destes fatores.

3.1 NATUREZA DO SUBSTRATO

Por se tratar da única fonte de alimentação aos microrganismos, a natureza do substrato é o principal fator que rege o processo de compostagem. (GAJALAKSHMI; ABBASI, 2008). Segundo Pereira Neto (1996), os microrganismos necessitam da presença de macro e micronutrientes para o exercício de suas atividades metabólicas. Dentre os nutrientes utilizados pelos microrganismos, dois são de extrema importância: o carbono e o nitrogênio, cujas concentração e disponibilidade biológica afetam o desenvolvimento do processo.

O carbono é fonte básica de energia para as atividades vitais dos microrganismos, porém, em excesso, leva a um aumento do período de compostagem. Já a falta de nitrogênio inibe a reprodução celular dos microrganismos, enquanto seu excesso leva à volatilização em forma de amônia.

Seguindo uma hierarquia básica, os compostos de carbono mais simples, tais como açúcares solúveis e ácidos orgânicos, são atacados na fase inicial de decomposição, gerando energia e sendo transformados em polímeros maiores e mais complexos. Na sequência estão as hemiceluloses, celulose e lignina. A lignina é extremamente resistente ao ataque de microrganismos e é o último material a ser degradado na compostagem.

3.2 RELAÇÃO CARBONO E NITROGÊNIO (C/N)

A relação C/N inicial teoricamente mais favorável para a compostagem é de 30/1, porém, na prática, valores entre 26/1 e 35/1 são capazes de favorecer uma degradação rápida e eficiente. Assim, quanto mais elevada a relação, maior será o tempo necessário para se atingir a humificação da matéria orgânica, visto que os microrganismos absorvem carbono e nitrogênio sempre na relação 30/1, sendo que das 30 partes de carbono assimilado, 2/3 são eliminados na forma de dióxido de carbono e o restante, ou seja, 1/3 assimilado, é imobilizado e incorporado no protoplasma dos microrganismos, vindo posteriormente constituir o húmus (KIEHL, 1998).

Da mesma forma, relações C/N inferiores a 30/1, ou seja, onde há excesso de nitrogênio, também não são favoráveis ao processo de compostagem, visto que nesses casos há o desprendimento de amônia e consequente liberação de odores desagradáveis ao meio.

De acordo com Kiehl (1985), durante a compostagem, a degradação da matéria orgânica leva a uma redução do carbono orgânico. O nitrogênio total -ou seja, o nitrogênio orgânico, nítrico e amoniacal - aumenta em virtude da mineralização, consequentemente, ocorre uma diminuição da relação C/N. Assim, ao final do processo de compostagem esta relação chega a valores entre 8/1 e 12/1 (KIEHL, 1998). A Instrução Normativa nº 23/2005 do Ministério da Agricultura estabelece uma relação C/N final no valor máximo de 18.

3.3 GRANULOMETRIA

A granulometria pode ser definida como a proporção relativa dos diferentes grupos

de tamanho de partículas existentes e separáveis por peneiramento, constituindo-se em um importante fator de influência para o processo de compostagem de resíduos sólidos domiciliares. (KIEHL, 1998).

Devido à relação do tamanho das partículas com a oxigenação da massa em compostagem, tem-se que partículas finas, menores que 2 mm, dificultam o arejamento, enquanto valores acima de 16 mm propiciam o arejamento natural, dispensando revolvimentos constantes. (RUSSO, 2003).

3.4 UMIDADE

Sendo a compostagem um processo biológico de decomposição da matéria orgânica, a presença de água é imprescindível para as necessidades fisiológicas dos organismos, os quais não vivem na ausência de umidade. (KIEHL, 1985).

Do ponto de vista teórico, o teor de umidade ideal para propiciar a degradação dos resíduos orgânicos é 100%. Entretanto, devido à necessidade de se obter uma configuração geométrica definida, bem como de manter uma porosidade adequada à passagem livre do ar para oxigenação do material, a umidade fica restringida a um valor máximo, situado em torno de 60%. (PEREIRA NETO, 1996).

Assim, elevados teores de umidade, ou seja, maiores que 65%, fazem com que a água ocupe os espaços vazios do meio, impedindo a livre passagem do oxigênio, o que poderá provocar aparecimento de zonas de anaerobiose. Se o teor de umidade de uma mistura é inferior a 40%, a atividade biológica é inibida, bem como a velocidade de biodegradação (FERNANES; SILVA, 1999).

3.5 TEMPERATURA

A temperatura é um dos principais fatores que controlam o processo de compostagem. Os microrganismos possuem metabolismo exotérmico, ou seja, realizam a decomposição da matéria orgânica gerando calor e elevando a temperatura da leira, devido às propriedades isolantes da massa em compostagem (KIEHL, 1998). Sendo assim, a produção de calor de um material é indicativo da atividade biológica na leira de compostagem e, por isso, indiretamente do seu grau de decomposição (HAUG, 1993).

A temperatura é também um fator muito importante quando se tem o intuito de eliminar patógenos. Elevadas temperaturas durante o processo de compostagem levam à destruição de sementes de ervas daninhas, microrganismos patogênicos, larvas de insetos e vermes. (GAJALAKSHMI; ABBASI, 2008). A Tabela 1 mostra a temperatura e o intervalo de tempo, necessários para a destruição dos tipos mais comuns de microrganismos patogênicos e parasitas.

Tabela 1 - Condições de inativação de parasitas e microrganismos patogênicos na compostagem.

Microrganismo/Parasita	Temperatura (°C)	Tempo (minutos)
Necator Americanus	45	50
Entamoeba histolística	45	3
Entamoeba histolística (cistos)	55	
Micrococcus pyogenes	50	10
Ascaris lumbricóides*	50 a 70	60m a 43h
Streptococcus pyogenes	54	10
Taenia saginata	55	3
Corynebacterium Diphtherine	55	50

Microrganismo/Parasita	Temperatura (°C)	Tempo (minutos)
Salmonella SP.	55	60
Salmonella Typhosa	60	30
Shigella Sp.	55	60
Escherichia Coli	55	60
E. Coli (cistos)	60	20
Trichinella spiralis (larvas)	55	3
Trichinella spiralis (cistos)	60	1
Bricella Abortus	55	30
Micobacterium Tuberculosis	67	20

* diferentes valores encontrados por diversos autores.
Fonte: Lelis e Pereira Neto (2001a).

3.6 pH (POTENCIAL HIDROGEÔNICO)

O pH é tido como um parâmetro que afeta os sistemas de compostagem. A reação da matéria orgânica vegetal ou animal é geralmente ácida. Assim, ao se iniciar a decomposição, ocorre uma fase fitotóxica pela formação de ácidos orgânicos que tornam o meio mais ácido do que o da própria matéria-prima original. Entretanto, esses ácidos orgânicos e os traços de ácidos minerais que se formam, reagem com bases liberadas da matéria orgânica, gerando compostos de reação alcalina.

Durante o processo de compostagem nota-se a formação de ácidos húmicos que também reagem com os elementos químicos básicos, formando humatos alcalinos. Como consequência, o pH do composto se eleva à medida que o processo se desenvolve, passando pelo pH 7.0 e alcançando pH superior a 8.0, enquanto contiver nitrogênio amoniacal. (MARAGNO et al., 2007).

3.7 AERAÇÃO

O ar contido nos interstícios da massa de material em compostagem é importante para o metabolismo e tipo de microrganismos envolvidos no processo. De acordo com Haug (1993) o oxigênio é necessário aos microrganismos no processo de obtenção de energia resultante da oxigenação do carbono orgânico. Assim, nota-se que ao longo do processo de compostagem ocorre o aumento gradual de dióxido de carbono e consequente diminuição do oxigênio (RUSSO, 2003).

O arejamento da massa em compostagem deve ser constante, para que não se alterem as atividades metabólicas dos microrganismos e o processo de degradação da matéria orgânica seja mais rápido por via da oxigenação de moléculas orgânicas presentes na massa. Para Pereira Neto (1996), o arejamento é o fator mais importante para o controle de diversos parâmetros da compostagem, haja vista que o mesmo proporciona, além do suprimento de oxigênio aos microrganismos, o controle da temperatura e umidade.

4 MÉTODOS DE COMPOSTAGEM

O processo de compostagem admite tecnologias alternativas que variam de sistemas simples e manuais a até mesmo complexas, altamente tecnológica, onde há monitoramento e controle dos parâmetros do processo. Sendo assim, pode ser conduzida de diversas formas tais com grandes instalações centralizadas com matéria orgânica recolhida seletivamente, em explorações agrícolas ou agropecuárias e, em pequenas unidades de caráter familiar, compostagem doméstica (BRITO, 2013).

Conforme Fernandes et al. (2006), Inácio & Miller (2009) e Kumar (2011), a tecnologia de compostagem pode ser separada em três grandes grupos tais como leiras de revolvimento, leiras estáticas aeradas e reatores biológicos. Os dois primeiros sistemas geralmente são realizados ao ar livre, sendo em alguns casos realizados em áreas cobertas. A compostagem em reatores biológicos apresenta várias alternativas de reatores e níveis de automação.

5 COMPOSTAGEM NO MUNDO E NO BRASIL

A seguir, serão apresentados exemplos de como a compostagem vem ocorrendo em alguns países, bem como, em território Nacional.

5.1 NO MUNDO

A reciclagem da matéria orgânica tem sido o foco em países desenvolvidos, onde políticas estaduais/locais, leis e aplicação destas, deram como resultado o incremento da compostagem nos últimos anos.

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) calculou os impactos positivos ambientais na produção de gases de efeito estufa associadas à recuperação de matéria orgânica proveniente de RSU. De acordo com os resultados, mais de 22 milhões de toneladas de restos de alimentos foram compostadas nos EUA em 2013, proporcionando uma redução anual de mais de 2,74 milhões de toneladas de emissões equivalentes de dióxido de carbono que é equivalente as emissões de 528.000 veículos em 1 ano.

Em 2014 e 2015 foram reciclados (principalmente compostados) na Inglaterra, cerca de 19% do total de resíduos domésticos recolhidos (DEFRA, 2015a), cerca de 4,2 milhões de toneladas de resíduos orgânicos, incluindo os resíduos alimentares separados por fontes e outros compostos orgânicos. Contudo, no mesmo ano, a taxa de reciclagem (incluindo a taxa de reutilização e compostagem) dos resíduos das famílias na Inglaterra foi de 44,8% (44,9% no Reino Unido), atrasando a meta de reciclagem de pelo menos 50% dos resíduos domésticos até 2020. No nível das autoridades locais (ou seja, a nível do distrito), as taxas de reciclagem variaram de 18% para 66%, e apenas 73 das 352 autoridades locais da Inglaterra atingiram uma taxa de reciclagem igual ou superior a 50% 2013 (Waite et al., 2015). Distritos com altas taxas de reciclagem total também tinham taxas de reciclagem de resíduos verdes / orgânicos. Por exemplo, a maior taxa de reciclagem de resíduos domésticos de 66% foi observada no Distrito de South Oxford shire, com uma taxa de reciclagem de resíduos verdes / orgânicos de mais de 55%, muito superior à taxa média de 40% na Inglaterra. A proporção de resíduos alimentares não é reciclada.

Os Estados Unidos e o Japão foram selecionados como exemplos de países fora da UE, onde a reciclagem de resíduos orgânicos, especialmente os resíduos alimentares dos domicílios, só foi implementada em alguns estados ou cidades. Nesses países, a maioria dos resíduos orgânicos é tratada de forma similar aos resíduos inertes (não biodegradáveis), e não é estritamente regulamentada para fins específicos de reciclagem (USEPA, 2013; Platt et al., 2014; MOEJ, 2015b). Por exemplo, no Japão, os RSU são geralmente classificados em materiais recicláveis (em itens metálicos, vidro, plásticos, jornais e cartões) e a proporção remanescente, que representa mais de 75% em peso de todos os RSU, é incinerada para redução de massa e recuperação de energia.

Sendo Estados Unidos país potência mundial, em 1990, ~ 4,2 milhões de toneladas, é disser somente 2,0% dos RSU total foram compostadas. Porém, a quantidade de resíduos composta aumentou para 20,6 milhões de toneladas (8,4% dos resíduos sólidos urbanos) em 2005. O crescimento da compostagem neste período foi atribuível às políticas promulgadas

pelos governos estaduais e locais para incentivar a adubação de aparas. De acordo com a USEPA, em 2014, 22,4 milhões de toneladas de RSU (8,8% do MSW total) foram compostados, mantendo níveis semelhantes de 2005 (USEPA, 2013). De acordo com as estatísticas, os impostos sobre aterros têm sido consistentes com as tendências de compostagem. De 1985 a 1995, o imposto de aterro nos EUA aumentou em cerca de 177%, de US \$ 17,75 por tonelada para US \$ 49,21 por tonelada. No entanto, o imposto de aterro em 2013 foi \$ 49,99 por tonelada, ~ 1,58% superior ao de 1995 (USEPA, 2013). Os impostos sobre aterros nos EUA permaneceram menores do que os praticados no Reino Unido e permaneceram praticamente inalterados há mais de 15 anos, proporcionando pouca motivação aos resíduos de reciclagem / compostagem.

O Japão gerou 42 milhões de toneladas de resíduos domésticos e de resíduos comerciais em 2013 (MOEJ, 2015a). Uma análise revelou que 36% dos RSU domiciliares e comerciais no Japão são resíduos de alimentos, equivalentes a 15 milhões de toneladas de restos de alimentos. Embora as práticas de separação de resíduos estejam bem estabelecidas no Japão, poucos governos locais atualmente usam resíduos alimentares domésticos separados de outros resíduos. Portanto, apesar da enorme quantidade de resíduos alimentares domésticos gerados (>10 milhões de toneladas/ano), menos de 6% são desviados para reciclagem (principalmente compostagem) e 94% são enviados para incineradores ou aterros sanitários.

A China tem testemunhado um desenvolvimento econômico rápido nas últimas décadas, período durante o qual a taxa de geração de resíduos aumentou drasticamente, atingindo 178.60 milhões de toneladas até 2014 (National Bureau of Statistics of China, 2015) que é típico dos RSU nos países em desenvolvimento (Alexisand James, 2009). O governo chinês está atualmente buscando uma estratégia de manejo de resíduos sustentável e adequada (Banco Mundial, 2005). Assim, a China foi selecionada como representante de países em desenvolvimento. Em geral, as principais preocupações ambientais associadas à compostagem de resíduos sólidos urbanos incluem a produção de óleos minerais, bioaerossóis, poeiras, ruído e lixiviados durante as diversas operações de compostagem, bem como a sua libertação para o ambiente circundante para além das instalações de compostagem (Büger et al. 2007, Sykes et al., 2007), juntamente com a exposição potencial a metais pesados, poluentes orgânicos e agentes patogênicos no caso de aplicação de composto no solo (Hargreaves et al., 2008). Dentre essas preocupações, os odores, os bioaerossóis e os metais pesados foram estudados com maior intensidade devido aos seus altos riscos potenciais.

Entre os fatores ambientais associados à RSU, o odor atraiu grande atenção devido ao seu impacto substancial na saúde ambiental e na qualidade de vida. Em 2005, o Taiwan Environmental Protection Administration legislou a reciclagem e compostagem de alimentos domésticos. Em 2004 e 2005, quatro plantas de compostagem de lixo alimentar localizadas no norte e no centro de Taiwan foram forçadas a desligar devido a protestos de residentes próximos. Mal odors é provavelmente o desafio mais exigente para a política ambiental emergente em Taiwan (Tsai et al., 2008). Bioaerossóis de plantas de compostagem têm sido observados penetrar profundamente nos pulmões devido ao seu pequeno tamanho de partícula (Byeon et al., 2008, O'Connor et al., 2015). Uma análise de distribuição de tamanho de partícula de bioaerossóis transportados pelo ar libertados a partir de um local de composição de resíduos verdes nos dias de funcionamento revelou que os bioaerossóis tinham predominantemente 0,5-3 µm de largura (média de 2 µm) (O'Connor et al., 2015). Seu pequeno tamanho implica uma alta possibilidade de inalação por humanos, o que pode causar sintomas respiratórios ou gastrointestinais (Douwes et al., 2003; Balser et al., 2015).

5.2 NO BRASIL

A reciclagem, segundo a Lei 12.305 de 2010, é sinônima de inclusão social, pois

prevê a obrigatoriedade da triagem domiciliar, a coleta seletiva, mecanismos de inserção dos catadores, por meio de associações, cooperativas. Condiciona-se o fim dos lixões à aprovação de projetos na área do saneamento que dependam de dinheiro público.

O CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem) reúne cerca de quarenta maiores empresas comprometidas com a reciclagem destaca que a nova política prevê no artigo 25 para o poder público; iniciativa privada e coletividade, a responsabilidade pela efetividade das ações capazes de tornarem reais os princípios contidos no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (P.N.R.S.).

Segundo levantamento realizado pelo IBGE, em agosto de 2000, a situação dos municípios brasileiros, no que se refere à disposição final dos resíduos sólidos urbanos, era a seguinte: 76% na forma de lixão (depósitos a céu aberto), 13% em aterro controlado (aterro) e 10% em aterro sanitário. Todos estes sistemas geram o lixiviado, líquido de cor escura, odor desagradável e alto poder poluidor, resultante da decomposição biológica da matéria orgânica presente nos resíduos. Neste sentido, se apresentam, como alternativa, as centrais de triagem e compostagem, para maximizar a vida útil dos aterros sanitários, haja vista a remoção dos materiais recicláveis presentes nos resíduos sólidos domiciliares, como também o aproveitamento da parcela orgânica na transformação em composto orgânico, por meio de um balanço de massa ao longo de todo o processo. No entanto, para que se obtenha um composto aplicável agronomicamente, é de suma importância a separação prévia do material inerte, o que tem sido incentivado através de programas de coleta seletiva.

Embora nos últimos anos a taxa de adesão a Programas Municipais de Coleta Seletiva venha aumentando no país e se fale constantemente em reciclagem de materiais inertes, muito pouco tem sido feito ou mesmo discutido em relação à parte orgânica presente nos resíduos sólidos coletados no país. De certa forma, tal fato soa curioso, quando se observa que em média 55 a 60%, em peso, dos resíduos sólidos gerados no país constituam-se de matéria orgânica.

As centrais de triagem e compostagem de acordo com sua concepção original são os locais cujos resíduos provenientes da coleta são triados e selecionados por tipologia. Muitas vezes, erroneamente, são utilizados os termos “usinas de compostagem” e “usinas de reciclagem de lixo”, porém, nota-se que nestes locais não há fabricação de qualquer tipo de substância ou produto e sim a transformação de matéria orgânica em composto. (LELIS; PEREIRA NETO, 2001b).

No Brasil, há registro de centrais de triagem em São Paulo e Curitiba já na década de 1930 (EIGENHEER, 1999). No entanto, somente a partir da década de 1960, vários países do mundo, inclusive o Brasil, lançaram programas mais amplos visando à reciclagem.

6 PRIMEIRO ESTUDO DE CASO

O município de Porto Alegre conta com uma estação de transferência de resíduos sólidos urbanos da Classe II-A, denominada Estação de Transbordo Lomba do Pinheiro (ETLP), situada à Estrada Afonso Lourenço Mariante, 4.401, Bairro Lomba do Pinheiro, na zona leste da cidade, ocupando uma área efetivamente utilizada de aproximadamente 1 ha.

A ETLP encontra-se dentro de uma área maior, de 18,7 hectares onde também estão instalados a Capatazia da Lomba do Pinheiro, a Unidade de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Domiciliares (UTC). A área localiza-se na Zona Leste do município de Porto Alegre, no bairro Lomba do Pinheiro, distando cerca de 23 km do centro da cidade. O acesso ao local se dá, principalmente, pelas Av. Bento Gonçalves, Estrada João de Oliveira Remião e Estrada Afonso Lourenço Mariante. A Figura 1 apresenta a demarcação da Estação Lomba do Pinheiro (ETLP).

resíduos com maior granulometria (de 20 cm a 50 cm), para acelerar o processo de compostagem, após esta ação, o material é levado para as leiras para sua compostagem levando dentre 90 a 360 dias para sua compostagem completa, dependendo das condições climáticas.

Durante o processo de decomposição o chorume é coletado e o mesmo é aspergido nas leiras para aceleração do processo, as leiras possuem de 2,5 m a 5 m de altura, sempre que necessário ou quando há disponibilidade de equipamentos, as leiras são reviradas para a manutenção da temperatura ideal para o processo.

Quando o composto se encontra em sua fase final, a leira é desfeita e o composto é disposto para locais de secagem, onde é controlada sua umidade e temperatura até o mesmo estar pronto para o peneiramento, onde o composto é disposto em uma pilha e já pode ser usado para ações da prefeitura municipal ou vendido para floriculturas dentre outras empresas e outros consumidores.

7 SEGUNDO ESTUDO DE CASO

O segundo estudo de caso foi realizado na empresa Beifort, localizada na BR 470, km 223,3 s/nº, Bairro Integração, cidade de Garibaldi/RS, conforme Figura 2.

Figura 2 – Localização da empresa Beifort.



Fonte: Adaptado de Google Images (2017).

7.1 DESCRIÇÃO E HISTÓRICO DA EMPRESA

A Beifort é um braço dentro da organização Beigrupo, o qual iniciou suas atividades em 1996, após a observação da necessidade de insumos que promovessem a vida do solo nas unidades de produção de mudas, paisagismo e varejo na floricultura.

Para desenvolver a linha Beifort, foram realizados estudos e experimentos práticos de compostagem de resíduos orgânicos, especialmente de bagaço, engaço e sementes de uva. Com base nestes experimentos, iniciou-se a produção em escala comercial, abastecendo inicialmente as unidades de produção, o setor de paisagismo e o Garden center do próprio grupo.

Após um ano a comercialização passou a ser efetuada para terceiros em outros municípios da região. Com o crescimento da produção e comercialização, em abril de 2000 foi adquirida uma área no município de Garibaldi, aonde em outubro de 2001 iniciou-se as atividades com nova Empresa BEIFIUR, com a finalidade de atender somente floriculturas, paisagistas e produtores.

Devido a sua qualidade e eficácia nos resultados, proveniente da alta qualidade da matéria-prima utilizada, o nível de aceitação do fertilizante Beifort pelo público da região foi

acima do esperado. Com venda exponencial e crescimento rápido, o produto atingiu grandes proporções, sendo o próximo passo produzi-lo em larga escala, nascendo assim a marca Beifort.

A Beifort, atualmente composta por 8 funcionários, atua na transformação de resíduos orgânicos (principalmente bagaço de uva), cuja origem é restrita e selecionada, em compostos orgânicos sólidos e líquidos, para produção de adubos, substratos entre outros produtos de altíssima qualidade.

7.2 QUALIDADE DO COMPOSTO

Em relação a produção dos adubos e substratos, estes iniciam com a compostagem do bagaço da uva. O sistema de compostagem adotado pela empresa em questão é o sistema fechado ou também conhecido como reator biológico. Este método confina os resíduos orgânicos em estruturas fechadas (ex.: reatores e containers). Este sistema permite o controle de diversos parâmetros (temperatura, concentração de oxigênio, odores, entre outros) do processo de compostagem.

Para garantir a qualidade do composto, são analisados diariamente a temperatura, umidade, relação carbono/nitrogênio (C/N), granulometria dos materiais e o potencial Hidrogeniônico (pH). O revolvimento das leiras ocorre a cada 3 meses.

O recebimento do bagaço da uva ocorre anualmente, nos meses de janeiro, fevereiro e março. Em 2017, foram recebidos 1 milhão e 200 mil kg, porém, deste volume, no final do processo tem-se uma perda entre 40 e 50%. Este material ficará sendo compostado durante cerca de 4 a 5 anos, dependendo da qualidade do composto, a uma temperatura entre 55 a 60°C. Após passado 1 ano de compostagem, é adicionado cama de aviária, visando quebrar o nitrogênio e o carbono. Cerca de 500 a 600m³ de cama de aviário são usados anualmente.

7.3 BASE DOS SILOS E RECOLHIMENTOS DOS EFLUENTES

A base dos silos é composta por argila e saibro compactada, seguida com a colocação de uma geomembrana. Ao redor de cada silo há canais de aproximadamente 30 x 30 cm, as quais visam evitar a entrada de água pluvial. Ao redor de cada solo, há drenos para chorume, sendo que os canos pretos é a água de bombeamento, visando manter a umidade no composto e os canos brancos é o chorume bombeado de volta, visando uma homogeneidade do composto.

8 CONCLUSÃO

O sistema de compostagem é uma boa escolha para a diminuição da fração orgânica proveniente dos resíduos sólidos urbanos. Porém mostra-se uma operação deficiente devido à falta de investimentos públicos no processo como se pode observar no Estudo de caso 1, onde o local possui um grande potencial, pois além de ter um grande volume de área, possui uma localização privilegiada. Desta forma, é possível diminuir consideravelmente os custos com transporte destes materiais orgânicos para os aterros controlados.

Já no Estudo de caso 2, percebe-se o oposto, onde há um investimento e tecnologia, porém em se tratando de uma empresa privada, há diversas restrições e limitações, ao qual torna praticamente inviável para a compostagem em grande escala de um município como Porto Alegre. Desta forma, caso houvessem maior número de centrais de compostagem e metodologias de pequeno porte como o Estudo de caso 2, haveria uma potencial redução da fração orgânica, prolongando-se assim a vida útil de aterros sanitários e menor custo de envio de resíduos para os mesmos.

Logo percebe-se deficiências e vantagens nos dois estudos, porem faltam maiores iniciativas, tanto público como privada, para atender as exigências da atualidade, como o aumento de geração de resíduos, provocado pelo desperdício e aumento gradual da população. Portanto seriam necessários investimentos e a gestão do Estudo de caso 2 interligadas ao volume de área do Estudo de caso 1, para atender de forma mais adequada a demanda de resíduos orgânicos geradas pelo município de Porto Alegre.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil: 2007**. ABRELPE, 2007. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br>. Acesso em: 15 JUL. 2009.

ABREU, M. F. **Do lixo à cidadania**: estratégias para a ação. Brasília: Caixa, 2007.

BLEY JÚNIOR, C. Usinas de lixo no Brasil: gerenciamento atual e perspectivas. **Revista ABLP**, n. 40, jan./fev./mar. 1993. Disponível em: www.ecoltec.com.br/publicaçõeestécnicas.htm. Acesso em: 03 maio 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa n. 23, de 31 de Agosto de 2005. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 8 set. 2005. Seção 1, p. 12.

BRASIL. Lei n.º 12.305/2010 – Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010.

BRITO, M. J. C. **Processo de compostagem de resíduos urbanos em pequena escala e potencial de utilização do composto como substrato**. 2008.124p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Tiradentes, Aracaju, SE, 2008.

BRINTON, W. F. **Compost quality**: standards & guidelines: an international review. New York: New York State Association of Recyclers, 2000. 42 p.

CALDERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo**. 4. ed. São Paulo: Humanitas, FFLCH/USP, 2003.

CAMPOS, A. L. O. **Avaliação metodológica da estabilização da fração orgânica putrescível em uma leira de compostagem de resíduos sólidos domiciliares**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1998.

CAMPOS, A. L. de O.; BLUNDI, C. E. **Avaliação de matéria orgânica em compostagem**: metodologia e correlações. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 1999.

CAMPOS, J. de O. (Org.); BRAGA, R. (Org.); CARVALHO, P. F. (Org.). **Manejo de resíduos**: pressuposto para a gestão ambiental. Rio Claro: IGCE, UNESP, 2002.

D'ALMEIDA, M. L.; VILHENA, A. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 2. ed. São Paulo: IPT, CEMPRE, 2000.

EIGENHEER, E. M. (Org.). **Coleta seletiva no Brasil**. Rio de Janeiro: In Folio, 1999. p. 42 – 47. (Experiências Brasileiras; n. 3).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **A plain english guide to the EPA: part 503 biossolids rule**. Washington: Office for Wastewater Management, 1994. Cap. 5.

EPSTEIN, E. **The science of composting**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1997.

FERNANDES, F.; HOSSAKA, A. L.; SILVA, S. M. C. P. Avaliação do processo de triagem e do composto produzido com resíduos sólidos urbanos em uma cidade de porte médio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2-7 set. 2007, Belo Horizonte. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2007.

FERNANDES, F & SILVA, S. M. C. P. Manual prático para a compostagem de Biossólidos. Programa de pesquisa em saneamento básico (PROSAB). UEL. LondrinaPR. 91p. 2006.

GAJALAKSHMI, S.; ABBASI, S. A. Solid waste management by composting: state of art. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 38, n. 5, p. 311-400, Sept. 2008.

GODOY JÚNIOR, E. et al. Sistema de armazenamento e de filtragem de biogás de esgoto em PVC. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL: QUALIDADE AMBIENTAL E RESPONSABILIDADE SOCIAL, 4., 24-26 maio 2004, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre: PUC, 2004. CD ROM.

GONÇALVES, R. **Proposta de um instrumento de avaliação para subsidiar processos de licenciamento ambiental de centrais de triagem e compostagem de resíduos sólidos domiciliares**. 2007. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

HAUG, R. T. **The practical handbook of compost engineering**. Boca Ratón, FL: Lewis Publ., 1993.

INÁCIO, C. T & MILLER, P. R. M. Compostagem: ciência e pratica para a gestão de resíduos orgânicos. 1º Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Departamento de Estatística e Indicadores Sociais. **Pesquisa nacional de saneamento básico: 2000**. Brasília: IBGE, 2001.

JUNKES, M. B. **Procedimentos para aproveitamento de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte**. 2002. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985.

KIEHL, Edmar. **Manual de compostagem**: maturação e qualidade do composto. Piracicaba: O Autor, 1998. 171 p.

KUTER, G. A. (coordenador). Biosolids composting. Water Environmental Federation, Alexandria, VA, 187 p., 1995

_____. **Manual de compostagem**: maturação e qualidade do composto. Piracicaba: O Autor, 1998.

_____. Qualidade de composto orgânico e comercialização. In: SIMPÓSIO Sobre Compostagem: Ciência e Tecnologia, 1., 19-20 ago. 2004, Botucatu. Botucatu: Unesp, 2004.

KUMAR, S. Composting of municipal solid waste. *Critical Reviews in Biotechnology*. 31(2): 112–136. 2011.

LELIS, M.P.N.; PEREIRA NETO, J. T. A contaminação biológica na compostagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001.

_____. Usinas de reciclagem de lixo: por que não funcionam? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21. 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001.

MARAGNO, E. S.; TROMBIN, D. F.; VIANA, E. O uso da serragem no processo de minicompostagem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 355-360, 2007.

MILANEZ, B. **Resíduos sólidos e sustentabilidade**: princípios, indicadores e instrumentos de ação. 2002. 207 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

MUNIZ, A. C. S. et al. **Eficiência da transformação de carbono total e nutrientes no processo de compostagem de resíduos sólidos orgânicos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21.; FEIRA INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 4., João Pessoa, 16-21 set. 2001. **Anais**. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

OLIVEIRA, E. C. A.; SARTORI, R. H.; GARCEZ, T. B. **Compostagem**. Piracicaba, 2008. 19 p. Anotações de aula. Disciplina: Matéria Orgânica do Solo.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. **Relatório da avaliação regional dos serviços de manejo de resíduos sólidos municipais na América Latina e Caribe**. Washington, D.C.: OPAS, 2005.

PEREIRA NETO, J. T. Conceitos modernos de compostagem. **Engenharia Sanitária**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 3, p.104-109, 1989.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem**: processo de baixo custo. Belo Horizonte:

UNICEF, 1996.

PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO. **Metodologias e técnicas de minimização, reciclagem e reutilização de resíduos sólidos urbanos.** Rio de Janeiro: ABES, 1999. 65p.

_____. **Métodos de transformação e aproveitamento da fração orgânica:** minimização da quantidade de resíduos dispostos em aterro. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 249 p.

RODELLA, A. A.; ALCARDE, J. C. Avaliação de materiais orgânicos empregados como fertilizantes. **Ciências Agrícolas**, Equador n. 21, p. 556-562, 1994.

RUSSO, M. A. T. **Tratamento de resíduos sólidos.** Coimbra: Universidade de Coimbra, 2003. Disponível em:
<http://www1.ci.uc.pt/mhidro/edicoes_antigas/Tratamentos_Residuos_Solidos.pdf>.

SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A. et al. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixture. **Bioresource Technology**, Essex, Eng., v. 78, p. 301-308, 2001.