



Artigo Original

e-ISSN 2177-4560

DOI: 10.19180/2177-4560.v12n12018p89-110

Submetido em: 9 ago. 2017

Aceito em: 7 abr. 2018

Gestão de Resíduos Sólidos e Compostagem Orgânica: Estudo de Caso para Escolha de Tecnologia de Processo em Macaé, Brasil

Ana Luiza Rivello Crivelaro

Bióloga pós-graduada em Gestão Ambiental. Mestranda em Engenharia Ambiental no Instituto Federal Fluminense *Campus Macaé/RJ* - Brasil. E-mail: aluiza.rivello@hotmail.com.

Marcos Antonio Cruz Moreira

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2005). Professor Titular no curso de Mestrado em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense *Campus Macaé/RJ* - Brasil. E-mail: mcruzbr@yahoo.com.br.

José Augusto Ferreira da Silva

Doutor em Geografia pela Universidade Estadual Paulista (2006). Professor no curso de Mestrado em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense *Campus Macaé/RJ* - Brasil. E-mail: jaferreirasilva@gmail.com.

Os resíduos sólidos têm sido um grande desafio para o poder público. No Brasil, esta problemática tem sido cada vez mais discutida tanto no âmbito jurídico, em normativas e legislações, como também nas práticas de gestão que envolvem sociedade, empresas e instituições de ensino. A promulgação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, no ano de 2010, determinou a desativação dos lixões visando à disposição ambientalmente adequada, em aterros sanitários, dos resíduos cujas possibilidades técnicas e econômicas de tratamento já se esgotaram. De acordo com pesquisa feita pela ABRELPRE (2012), aproximadamente 51,4% dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil são formados por resíduo orgânico, sendo essa fração cabível de tratamento através da compostagem e biodigestão. As Instituições de Ensino possuem papel fundamental no desenvolvimento de novas técnicas, sendo um laboratório de ideias sempre em busca de soluções. Buscou-se com esta pesquisa analisar equipamentos e propor um modelo de planta de compostagem para a gestão de resíduos orgânicos do IFFluminense *Campus Macaé*. De acordo com a realidade do Instituto, conclui-se que a tecnologia de processo ideal é a constituída por um tambor com perfurações que propiciam melhor aeração.

Palavras-chave: Reator biológico. Metodologias de compostagem. Resíduos orgânicos.

Gestão de Resíduos Sólidos e Compostagem Orgânica: Estudo de Caso para Escolha de Tecnologia de Processo em Macaé, Brasil

Ana Luiza Rivello Crivelaro, Marcos Antonio Cruz Moreira, José Augusto Ferreira da Silva

.....
Management of Solid Waste and Organic Composting: Case Study for Choice of Process Technology in Macaé, Brazil

Solid waste has been a major challenge for the government. In Brazil, this issue has been increasingly discussed both concerning legal framework in regulation and legislation, as well as management practices that involve society, companies and educational institutions. The enactment of the National Solid Waste Policy, in 2010, determined the deactivation of large garbage dumps for the environmental friendly disposal of waste in landfills - waste which has already sold out the technical and economic possibilities of treatment. According to ABRELPRE (2012), approximately 51.4% of Municipal Solid Waste in Brazil is made up of organic waste and this fraction may have appropriate treatment through composting and biodigestion. The education institutions play a fundamental role in the development of new techniques, being a laboratory of ideas that always seek for solutions. This study aimed to analyze equipment and propose a composting plant model for waste management at IFFluminense in Macaé. According to the conditions of the Institute, it can be concluded that the best process technology consists of a drum with holes that provide better aeration.

Keywords: Bioreactor. Composting methodologies. Organic waste.

Gestión de Residuos Sólidos y Compostaje Orgánico: Estudio de Caso para Selección de Tecnología de Proceso en Macaé, Brasil

Los residuos sólidos han sido un gran desafío para el poder público. En Brasil, esta problemática ha sido cada vez más discutida tanto en el ámbito jurídico, en normativas y legislaciones, como también en las prácticas de gestión que involucran sociedad, empresas e instituciones de enseñanza. La promulgación de la Política Nacional de los Residuos Sólidos, en el año 2010, determinó la desactivación de los basurales para la disposición ambientalmente adecuada, en los rellenos sanitarios, de los residuos cuyas posibilidades técnicas y económicas de tratamiento ya se han agotado. De acuerdo con la investigación realizada por ABRELPRE (2012), aproximadamente el 51,4% de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en Brasil son formados por residuo orgánico, siendo esta fracción cabida de tratamiento a través del compostaje y biodigestión. Las Instituciones de Enseñanza desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de nuevas técnicas, siendo un laboratorio de ideas siempre en busca de soluciones. Se buscó con esta investigación analizar equipos y proponer un modelo de planta de compostaje para la gestión de residuos orgánicos del IFFluminense *Campus Macaé*. De acuerdo con la realidad del Instituto, se concluye que la tecnología de proceso ideal es la constituida por un tambor con perforaciones que propician mejor aireación.

Palabras clave: Reactor biológico. Metodologías de compostaje. Residuos orgánicos.

1 Introdução

A gestão dos resíduos sólidos tem sido um grande desafio para o poder público no novo milênio. No Brasil, mudanças no âmbito da disposição final começaram a ocorrer nas últimas duas décadas com ações e projetos para a melhoria da disposição e o tratamento do resíduo, pois anteriormente a preocupação era somente com a limpeza urbana. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) determinou que a partir do ano de 2014 os municípios deveriam enviar os resíduos sólidos urbanos a aterros, e os lixões seriam desativados. Os aterros sanitários são caracterizados como uma forma segura de disposição dos resíduos sólidos no solo fundamentado em critérios de engenharia e procedimentos operacionais. Isso garante o controle da poluição ambiental e minimiza os impactos ambientais (IPT, 2000; BOSCOV, 2008). Porém as cidades geram um alto nível de resíduos orgânicos diariamente, advindos de diversas origens, como domicílios, indústrias, comércio etc. Segundo pesquisa da ABRELPE (2012), 51,4% dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil são formados por resíduo orgânico e 31,9%, resíduos recicláveis. Esses resíduos orgânicos possuem certo poder nutritivo (dependendo da forma e fonte geradora), podendo, portanto, ser utilizados para diversas finalidades como alimentação animal e principalmente a compostagem.

A compostagem é um processo natural que se refere à degradação da matéria orgânica, porém esse termo tem sido utilizado pela manipulação do material pelo homem, que, através da observação do que acontecia na natureza, desenvolveu técnicas para acelerar a decomposição e produzir compostos orgânicos que atendessem rapidamente às suas necessidades.

Para Pereira Neto (2007), a compostagem é um processo aeróbio controlado que ocorre em duas fases distintas desenvolvidas por uma população diversificada de microrganismos. A primeira fase é denominada termofílica, na qual ocorrem as reações bioquímicas mais intensas; a segunda ou fase de maturação é quando ocorre o processo de estabilização e humificação. O termo composto orgânico pode ser aplicado ao produto compostado, estabilizado e higienizado, que é benéfico para a produção vegetal (ZUCCONI; BERTOLDI, 1987).

A compostagem mecânica resume-se em acelerar a fase inicial da compostagem por meios mecânicos (GROSSI, 1993). As usinas mais conhecidas são dotadas de um tambor, em que a aeração é realizada em sentido contrário ao da entrada dos resíduos; com a rotação do tambor, os resíduos tombam, acelerando ainda mais o processo. Os resíduos são então retirados do tambor e levados ao pátio para conclusão do processo com a humificação.

Com este estudo analisa-se reatores biológicos e propõe-se um modelo para a utilização na compostagem dos resíduos orgânicos gerados pelo IFFluminense *Campus Macaé*.

2 O contexto da base legal brasileira

O início das ações governamentais sobre o saneamento básico se deu em 1942, com a criação do Serviço Especial de Saúde Pública (SESP), que, após transformações, deu origem a atual Fundação Nacional da Saúde (FUNASA). No intuito de viabilizar o funcionamento dos serviços



Gestão de Resíduos Sólidos e Compostagem Orgânica: Estudo de Caso para Escolha de Tecnologia de Processo em Macaé, Brasil

Ana Luiza Rivello Crivelaro, Marcos Antonio Cruz Moreira, José Augusto Ferreira da Silva

.....
de saneamento básico, a antiga SESP sempre se pautou em uma atuação conjunta com o município (HELLER; CASTRO, 2013).

Em 1959, com a criação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), muitos estados criaram organismos com a finalidade de promover e viabilizar o saneamento básico nos municípios. Já em 1967, a edição do Decreto-lei nº 248, de 28 de fevereiro, deu origem à Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), compreendida apenas, como um “conjunto de diretrizes destinadas à fixação do programa governamental a aplicar-se nos setores de abastecimento de água e esgotos sanitários” (Art. 1º) (BRASIL, 1967). Nota-se que os serviços relativos aos resíduos sólidos ainda era um tema ignorado pelo Estado.

Ainda em 1967, a Lei nº 5.318, de 26 de setembro, instituiu a Política Nacional de Saneamento (PNS), que abrangia em seu conceito, assim como outros fatores, o controle de poluição ambiental e o lixo. Além de outras modificações, a lei atribuiu à elaboração e expedição do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA) (BRASIL, 1967).

Com a criação da Lei Federal nº 11.445, em 2007, vulgarmente chamada como a Lei das Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico (LNSB), houve a primeira menção sobre a relevância do sistema de gestão dos resíduos sólidos urbanos. A referida lei estabeleceu que os serviços de saneamento básico deveriam ser prestados em acordo com doze princípios essenciais, dos quais se destacam, além dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, a limpeza urbana e o manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente (HELLER; CASTRO, 2013).

Contudo, mesmo com todo este arcabouço, a fim de auxiliar a governança municipal sobre as questões de saneamento básico, os municípios ainda não dispunham de políticas consistentes e recursos suficientes para arcar com o gerenciamento adequado de resíduos sólidos. Ou seja, o Brasil, já no século XX, ainda carecia de uma gestão integrada e compartilhada de resíduos sólidos urbanos, que envolvesse as três esferas de governo (municipal, estadual e federal) e definisse as diretrizes estratégicas, os arranjos institucionais, os aspectos legais, os mecanismos de financiamento e os instrumentos facilitadores para a efetiva inclusão e o controle social nas políticas públicas relacionadas aos resíduos (LEITE, 1997).

Finalmente, após quase 20 anos de espera, em meados de 2010, o Projeto de Lei nº 203/91, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), foi aprovado no Congresso Nacional Brasileiro. A lei foi sancionada pelo presidente da república como Lei Federal nº 12.305, em 02 de agosto de 2010 e regulamentada pelo Decreto Federal nº 7404 de 23 de dezembro de 2010.

Segundo Leite (2012), a nova Lei, como formulada, é o marco regulatório no setor de resíduos sólidos no Brasil, integrando a Política Nacional do Meio Ambiente, articulando-se com a Lei Federal de Saneamento Básico (Lei nº. 11.445/07), com desdobramentos nas Leis: Federal de Consórcios Públicos (Lei nº 11.107/05); de Parceria Público-Privada (Lei nº. 11079/04); do Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/01), e da Lei de Educação Ambiental (Lei nº. 9795/99), entre outros textos afins. Também se aplica aos resíduos sólidos as normas estabelecidas pelos órgãos do

Gestão de Resíduos Sólidos e Compostagem Orgânica: Estudo de Caso para Escolha de Tecnologia de Processo em Macaé, Brasil

Ana Luiza Rivello Crivelaro, Marcos Antonio Cruz Moreira, José Augusto Ferreira da Silva

Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA) e do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (SINMETRO).

A PNRS traz uma nova visão sobre a responsabilidade ambiental na gestão dos resíduos sólidos. Dispõe sobre princípios baseados na gestão integrada e sustentável dos resíduos, como a logística reversa e a responsabilidade compartilhada na legislação brasileira. Ambos, envolvendo a sociedade, as empresas e os governos federais, estaduais e municipais na gestão dos resíduos (BRASIL, 2010). Define, ainda, como obrigação do município realizar o serviço de coleta, transporte e tratamento de resíduos gerados, corroborando a ideia de que os municípios são os titulares do serviço público de saneamento, conforme a Constituição Federal (BRASIL, 1988).

Art. 10. Incumbe ao Distrito Federal e aos Municípios a gestão integrada dos resíduos sólidos gerados nos respectivos territórios, sem prejuízo das competências de controle e fiscalização dos órgãos federais e estaduais do SISNAMA, do SNVS e do SUASA, bem como da responsabilidade do gerador pelo gerenciamento de resíduos, consoante o estabelecido nesta Lei (BRASIL, 2010, p. 6).

A partir da sua regulamentação, no prazo de dois anos, a lei exigiu a elaboração de planos de resíduos sólidos em âmbitos nacional, estadual e municipal, que apresentem metas gradativas de redução, reutilização e reciclagem, com o objetivo de reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição no solo. O acesso aos recursos da União à gestão dos resíduos sólidos só será disponibilizado a partir da apresentação dos planos acima mencionados (JACOBI; BESEN, 2011).

3 Gestão integrada de resíduos sólidos

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) define, no 3º artigo inciso XI, a gestão integrada de resíduos sólidos como conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável.

Monteiro (2001) sintetiza o Gerenciamento de Resíduos Sólidos como uma ação que necessita do envolvimento de diferentes órgãos da administração pública e da sociedade civil com o propósito de realizar a limpeza urbana, a coleta, o tratamento e a disposição final do lixo, elevando assim a qualidade de vida da população e promovendo o asseio da cidade. O autor ainda dá ênfase ao fato que características sociais, culturais e econômicas dos cidadãos e as peculiaridades demográficas, climáticas e urbanísticas locais devem ser levadas em consideração, assim como as características das fontes de produção, o volume e os tipos de resíduos – para ser dado tratamento diferenciado e disposição final técnica e ambientalmente corretas (MONTEIRO, 2001).

Concomitantemente, a PNRS atribui a responsabilidade de realizar um Plano de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos aos geradores, visando o manejo correto, a destinação final



Gestão de Resíduos Sólidos e Compostagem Orgânica: Estudo de Caso para Escolha de Tecnologia de Processo em Macaé, Brasil

Ana Luiza Rivello Crivelaro, Marcos Antonio Cruz Moreira, José Augusto Ferreira da Silva

ambientalmente adequada para resíduos reutilizáveis, recicláveis ou passíveis de compostagem, bem como a disposição final dos rejeitos em aterros sanitários (BRASIL, 2010).

As soluções para gestão de resíduos, mundialmente, têm se baseado no gerenciamento integrado de resíduos. Segundo White et al. (1995 apud REICHERT; MENDES, 2014), o gerenciamento integrado e sustentável de resíduos sólidos é uma forma diferenciada de manejo de resíduos, que combina diferentes métodos de coleta e tratamento para lidar com todos os materiais no fluxo de geração e descarte de resíduos, de maneira ambientalmente efetiva, economicamente viável e socialmente aceitável. Estudo feito por Wilson et al. (2001, apud REICHERT; MENDES, 2014) teve como uma das principais conclusões que devido ao grande número de variáveis envolvidas intrínsecas a cada município, não há “um modo correto” para manejar os resíduos ou para criar um sistema integrado de gerenciamento. Mas há metodologias de como chegar ao melhor modo de fazê-lo, por isso cada municipalidade deverá buscar o desenvolvimento de seu próprio modelo ou sistema, baseado nas características e peculiaridades locais.

Segundo o Manual de Gerenciamento Integrado do IPT/CEMPRE (D’ALMEIDA; VILHENA, 2000), gerenciar o lixo de forma integrada requer limpar o município por meio de um sistema adequado de coleta e transporte, tratando com tecnologias adequadas e, de acordo com Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), a forma ambientalmente adequada de tratamento dos resíduos orgânicos é a compostagem.

4 Compostagem orgânica

O processo de compostagem pode ser considerado uma versão acelerada do processo da biodegradação da matéria orgânica no solo, sendo obtido por meio do fornecimento de condições favoráveis (como temperatura, umidade, pH e aeração) à atividade microbiana (ZUCCONI; BERTOLDI, 1987). A técnica da compostagem foi desenvolvida com a finalidade de se obter mais rapidamente e em melhores condições a estabilização da matéria orgânica. Com esse controle viabiliza-se o potencial de fertilização da matéria orgânica e fatores adversos causados pela degradação descontrolada são evitados (KIEHL, 2004; PEREIRA NETO, 2007).

Fialho et al. (2005) definem a compostagem como o

[...] processo de decomposição controlada, exotérmica (libera calor) e bio-oxidativa de materiais de origem orgânica realizada por micro-organismos, em um ambiente úmido, aquecido e aeróbio, com produção de dióxido de carbono, água, fornecimento de minerais e matéria orgânica estabilizada denominada composto ou húmus, que pode ser utilizado como fertilizante (FIALHO, 2005, p. 1).

O processo de compostagem pode ser dividido de várias formas. De acordo com Pereira Neto (2007), o sistema pode ser analisado em duas fases, de acordo com a temperatura observada, chamadas de degradação ativa e, posteriormente, maturação ou cura.

Sharma et al. (1997) dividem o processo em três fases de acordo com os componentes que estão sendo degradados, sendo: a fase inicial na qual componentes facilmente degradáveis



Gestão de Resíduos Sólidos e Compostagem Orgânica: Estudo de Caso para Escolha de Tecnologia de Processo em Macaé, Brasil

Ana Luiza Rivello Crivelaro, Marcos Antonio Cruz Moreira, José Augusto Ferreira da Silva

.....
são decompostos; fase termofílica durante o qual materiais de celulose e similares são degradados por uma elevada atividade bio-oxidativa; e maturação e fase de estabilização. Relata ainda que a compostagem também pode ser discutida distinguindo-a em duas fases bem definidas: a bioestabilização e a humificação. Sendo a bioestabilização um processo muito intenso envolvendo a degradação de substâncias orgânicas fermentáveis como açúcares, aminoácidos, etc. As atividades microbianas produzem calor intenso, dióxido de carbono e água, e uma parcela de material orgânico estabilizado. O processo de transformação das substâncias orgânicas é completado na segunda fase sob condições menos oxidativas, permitindo assim a formação do húmus.

Os principais nutrientes encontrados nos resíduos vegetais e animais estão na forma orgânica e são decompostos em diferentes estágios (KIEHL, 1985), com diferentes intensidades e por diferentes populações de microrganismos, que secretam enzimas e digerem o seu alimento fora da célula (PRIMAVESI, 1981).

“Entende-se como composto orgânico o produto final da compostagem, ou seja, degradação, mineralização e humificação de resíduos orgânicos, obtido através de processo aeróbico controlado” (PEREIRA NETO, 2007).

Peixoto et al. (2014) destacam como vantajoso o uso do composto, pois

[...] A vantagem do composto é que os nutrientes em geral estão em três formas. Parte está pronta, disponível para a nutrição da cultura, outra está parcialmente disponível, já que se encontra protegida pelo húmus na forma de complexos. Uma terceira está retida na matéria orgânica ainda a ser decomposta ou mineralizada no solo. Portanto, o composto orgânico sendo gradativamente aproveitado pelas culturas funciona como reservatório de nutrientes no solo (PEIXOTO et al., 2014, p. 66).

Portanto, deve-se ter em mente que o composto tem, além dos húmus, parte da matéria orgânica ainda em transformação, o que confere a propriedade de liberar gradativamente os nutrientes e melhorando o aproveitamento para as culturas agronômicas (PEIXOTO, 2014).

4.1 Fatores que afetam o processo de compostagem

A compostagem é um processo microbiológico e para ocorrer com eficiência desejada alguns parâmetros devem ser observados e controlados, os mesmos serão discutidos a seguir.

- **Relação C/N**

De acordo com Sharma et al. (1997), a relação C/N é um parâmetro utilizado para avaliar os níveis de maturação de substâncias orgânicas e seus efeitos no crescimento microbiológico, pois a atividade da comunidade microbiana heterotrófica, envolvida no processo, depende tanto do conteúdo de carbono (C) para fonte de energia, quanto de nitrogênio (N) para síntese de proteínas. Portanto essa relação deve ser definida antes do início da compostagem para efeito de balanço de nutrientes, e também no produto final, para efeito de qualidade do composto (MORREL et al., 1985).

Tabela 1. Relação C/N de resíduos sólidos domiciliares

Material Orgânico	Nitrogênio (%)	C/N
Alface	2,4-3,0	16-20/1
Alfafa	2,4-3,0	16-20/1
Alho	2,65	15/1
Batata	1	25/1
Cenoura	2,55	27/1
Couve	2,15	25/1
Nabo	1	44/1
Repolho	3,6	12/1
Tomate	3,3	12/1
Restos de frutas	1,52	34/1
Borra de café	2,3	22/1
Bagaço de laranja	0,71	18/1
Média RSOD	2,2	23/1
Serragem	0,11	511/1

Fonte: Adaptado de Kiehl (2010)

- **Aeração**

A compostagem pode ser dividida em duas categorias de acordo com a presença de oxigênio em anaeróbia e aeróbia. Na compostagem aeróbia ocorre a decomposição dos substratos orgânicos, sendo que os principais produtos do metabolismo biológico são CO_2 , H_2O e energia. Na ausência de oxigênio a decomposição dos substratos orgânicos produz CH_4 e CO_2 , além de produtos intermediários, como ácidos orgânicos de baixo peso molecular (PEREIRA NETO, 1996; KIEHL, 2004).

Entretanto, quando se busca a compostagem como tratamento de resíduos orgânicos, procura-se oferecer um ambiente aeróbio para que os microrganismos se desenvolvam, diminuindo assim a emissão de odores e de gases causadores do efeito estufa. Conforme escreve Pereira Neto (2007, p. 20), “não se concebe, tanto do ponto de vista técnico da eficiência do processo quanto do ponto de vista de impactos e inconvenientes, que a compostagem seja anaeróbia”.

A aeração pode ser classificada como o principal mecanismo capaz de evitar altos índices de temperatura durante o processo de compostagem, de aumentar a velocidade de oxidação, de diminuir a liberação de odores e reduzir o excesso de umidade de um material em decomposição (PEREIRA NETO, 1996; KIEHL, 2004).

Para que ocorra a digestão, os microrganismos liberam enzimas hidrolíticas, que retiram porções da matéria orgânica na forma solúvel e de baixo peso molecular, sendo necessária a presença de oxigênio nesta fase, para que a matéria orgânica já absorvida seja metabolizada (KIEHL, 2004).

- **Umidade**

De acordo com Fialho et al. (2005), a umidade considerada ideal para o processo varia de 50 a 60%, pois níveis muito baixos de umidade (abaixo de 30%) inibem a atividade microbiana e



Gestão de Resíduos Sólidos e Compostagem Orgânica: Estudo de Caso para Escolha de Tecnologia de Processo em Macaé, Brasil

Ana Luiza Rivello Crivelaro, Marcos Antonio Cruz Moreira, José Augusto Ferreira da Silva

um meio muito úmido (acima de 65%) causa condições de anaerobiose e lixiviação de nutrientes, tornando a decomposição lenta.

Como a matéria orgânica é hidrófila, é necessária uma análise dos resíduos antes do início do processo para que não se prejudique a eficiência da compostagem. Para Pereira Neto (2007), o controle do teor de umidade de uma leira é tarefa difícil, pois se a matéria-prima tiver excesso de umidade, sugere-se adicionar um material que absorva esse excesso (por exemplo, resíduos vegetais secos) e se o teor de umidade for baixo, é só adicionar água ou outros resíduos orgânicos com elevado teor de umidade.

- **Temperatura**

A temperatura do processo de compostagem é o principal fator que determinará a sucessão das populações microbianas e suas representatividades nas fases de degradação, sendo um fator indicativo da eficiência do processo (REBOLLIDO et al., 2008; PEREIRA NETO, 2007). Para Pereira Neto (2007, p. 22), a “temperaturas superiores a 65°C devem ser evitadas por causarem eliminação dos microrganismos mineralizadores, responsáveis pela degradação dos resíduos orgânicos.”

De acordo com Pereira Neto (2007), alguns fatores influenciam o bom desenvolvimento da temperatura da massa de compostagem. Citam-se as características da matéria-prima; o tipo de sistema utilizado; o controle operacional: teor de umidade, ciclo de reviramento, balanço inicial dos nutrientes e quantidade de material; e a configuração geométrica das leiras.

- **Potencial hidrogeniônico - pH**

De acordo com Sharma et al. (1997), o pH deve ser regularmente monitorizado durante o processo. Este é um parâmetro que está submetido a mudanças consideráveis. Inicialmente com a formação de dióxido de carbono e ácidos orgânicos o pH varia de 5-6, ao passo que o processo progride, o valor do pH atinge mesmo até 8-8,5. Isto é principalmente devido à decomposição de proteínas, bem como a eliminação de dióxido de carbono.

Pereira Neto (2007) relata que ao longo de 19 anos como pesquisador da área concluiu que a compostagem pode ser desenvolvida em uma faixa bem ampla, entre 4,5 e 9, e que os valores extremos são automaticamente regulados pelos micro-organismos que degradarão compostos que produzem subprodutos básicos ou ácidos, de acordo com a necessidade do meio.

- **Granulometria**

A granulometria se refere ao tamanho das partículas e é um aspecto que interfere diretamente na eficiência da compostagem. Como este é um processo microbiológico quanto menor é a superfície de contato maior será a área que poderá ser atacada e digerida pelos microrganismos, acelerando o processo de decomposição (KIEHL, 1985). Entretanto, partículas muito pequenas propiciam à compactação, inibindo a circulação de ar, diminuindo a disponibilidade de oxigênio para os microrganismos e com isso diminuindo a atividade microbiana (FIALHO et al., 2005).

Pereira Neto (2007) recomenda que antes da montagem das pilhas ou leiras a matéria orgânica deve ser submetida a um processo de trituração para correção do tamanho das partículas.

4.2 Métodos e tipologias de Compostagem

De acordo com Souto Júnior (2011) a maior diferença entre os processos de compostagem consiste na técnica utilizada para aeração. De modo geral, pode ser categorizado da seguinte maneira: sistema de leiras revolvidas (“windrow”), sistema de leiras estáticas e compostagem em biorreatores.

- **Sistema de leiras revolvidas**

Este processo tem sido utilizado pela maioria dos municípios que possuem unidades de triagem e compostagem de resíduos urbanos, em função de exigir baixos valores de investimentos em sua implantação e operar a baixos custos (SOUTO JÚNIOR, 2011). Neste caso, é muito importante que o local da disposição seja concebido adequadamente. O projeto inclui condições do solo, topografia local, drenagem e outras condições específicas do local, juntamente com o tipo de equipamento utilizado. (SHARMA et al., 1997).

Sharma et al. (1997) ainda destacam outro fator que deve ser dado ao tamanho da leira que deve ser dimensionada de tal maneira que haja capacidade de minimizar a perda de calor.

A frequência de revolvimento das leiras está condicionada às taxas de umidade, porosidade e decomposição da substância. Sendo a taxa de viragem geralmente elevada no início do processo com diminuição gradual com o aumento de estabilização (SHARMA et al., 1997).

- **Sistema de leiras estáticas**

A principal diferença deste tipo de compostagem está no fato da leira não sofrer nenhum tipo de revolvimento. A oxigenação é garantida pela circulação de ar passiva ou forçada através de um conjunto de tubos. Os tubos com orifícios adequados e pontos de extremidade aberta (colocados acima da camada de composto maduro espalhados na parte inferior) sobem através da pilha de resíduos (SHARMA et al., 1997).

Este sistema não é recomendável para todo tipo de resíduos sólidos, pois para isto o material a ser compostado deve ser homogêneo e possuir granulometria suficiente para garantir boa permeabilidade do ar insuflado, sob baixa pressão (SOUTO JÚNIOR, 2011).

O método é especialmente importante para o tratamento de resíduos industriais com efeito olfativo considerável ou elevada concentração de compostos de nitrogênio (SHARMA et al., 1997).

- **Sistemas de reatores biológicos**

De acordo com a Norma NBR 13.591 (ABNT, 1996), é definido como “Biodigestor; digestor; reator biológico: Equipamento em cujo interior se propiciam condições controladas de temperatura, umidade, homogeneização e aeração durante o processo de compostagem”.

A compostagem utilizando esses equipamentos resume-se em acelerar a fase inicial da compostagem por meios mecânicos (GROSSI, 1993). As usinas mais conhecidas são dotadas de um tambor, em que a aeração é realizada em sentido contrário ao da entrada dos resíduos; com a rotação do tambor, os resíduos tombam, acelerando ainda mais o processo. Os resíduos são então retirados do tambor e levados ao pátio para conclusão do processo com a humificação.

Gestão de Resíduos Sólidos e Compostagem Orgânica: Estudo de Caso para Escolha de Tecnologia de Processo em Macaé, Brasil

Ana Luiza Rivello Crivelaro, Marcos Antonio Cruz Moreira, José Augusto Ferreira da Silva

A estabilização de substrato (matéria-prima), utilizando compostagem através de reatores envolve combinações de diferentes técnicas para manuseio de material e ventilação forçada de ar na matriz (SHARMA et al., 1997), podendo ser realizada no interior de reatores dos mais diversos tipos, onde os diversos parâmetros do processo e até adição de nutrientes são controlados (PEREIRA NETO, 1987).

Em estudo feito por Santos (2013) foi concretizado um equipamento que acelera o processo de decomposição devido à aeração e canalização do chorume. A máquina é composta de três cilindros, de 1 m de comprimento e 0,6 m de diâmetro, que possuem em seu interior grades acopladas a um eixo movidas por um motor elétrico que possui potência de ½ cavalo com rotação de 30 RPM.

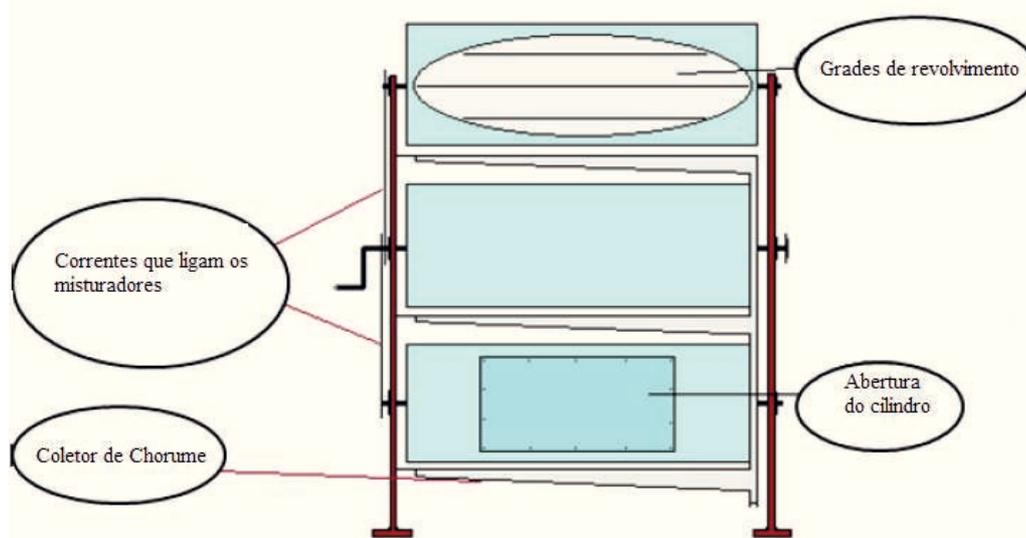


Figura 1. Esquema do reator biológico construído por Santos (2013)

Fonte: Santos (2013, p.8)

O método utilizou resíduos orgânicos não cozidos oriundos do setor de hortifrúti e serragem e/ou pó de serra na porcentagem de 10%, os quais foram misturados sem adição de água e revolvidos diariamente durante um período de três meses. Após a diminuição da temperatura, no final do período de três meses, uma parte do composto foi enviada para a análise bioquímica. Com o final da pesquisa conclui-se que o equipamento é capaz de fazer a compostagem mecânica de resíduos orgânicos em espaços reduzidos, podendo ser utilizado em escolas e restaurantes, por exemplo, sendo assim uma inovação no desenvolvimento de estratégias capazes de solucionar questões da gestão de resíduos.

Guidoni et al. (2013) desenvolveram uma pesquisa, no município de Capão do Leão-RS, utilizando reator metálico de 255 litros de formato cilíndrico com tampa, com as dimensões de 0,57 m de diâmetro e 1,00 m de altura. Para propiciar melhor aeração o reator foi perfurado radialmente em três alturas (0,05 m, 0,20 m e 0,35 m a partir da sua base), com 0,01m de diâmetro e 10 orifícios por altura (Figura 2).

Gestão de Resíduos Sólidos e Compostagem Orgânica: Estudo de Caso para Escolha de Tecnologia de Processo em Macaé, Brasil

Ana Luiza Rivello Crivelaro, Marcos Antonio Cruz Moreira, José Augusto Ferreira da Silva

Os reatores foram acondicionados em locais sombreados de quatro domicílios distintos e receberam uma camada inicial de 0,5 m de material aerador (CA). Os moradores foram capacitados para que depositassem as sobras de cascas de frutas, legumes e hortaliças nos reatores e cobrirem totalmente com CA. Após o acúmulo de material até o limite de preenchimento (aproximadamente 200 L), o material foi despejado formando uma pilha e uma nova etapa de armazenamento de resíduos nos reatores era iniciada. No fim de um período de 45 dias, em forma de pilha, o composto foi ensacado (GUIDONI et al., 2013).



Figura 2. Reator utilizado em pesquisa de Guidoni et al. (2013)

Fonte: Guidoni et al. (2013, p. 45)

Durante o processo não houve presença de maus odores característicos de uma atividade metabólica em anaerobiose e consequente liberação de gases sulfurados, o que indica a eficácia da casca de arroz como material estruturante. Após análises físico-químicas, Guidoni et al. (2013) concluíram que a compostagem domiciliar é um sistema de tratamento de resíduos orgânicos que pode ser explorado e desenvolvido de modo a se tornar uma ferramenta útil.

No trabalho realizado por Maragno, Trombim e Viana (2013) foram utilizadas quatro minicomposteiras de PVC cilíndricas e idênticas, com 0,40 m de diâmetro e 0,75 m de comprimento, com as extremidades abertas (Figura 3).



Figura 3. Reator biológico utilizado por Maragno, Trombim e Viana (2013)

Fonte: Maragno, Trombim e Viana (2013, p. 357)



Gestão de Resíduos Sólidos e Compostagem Orgânica: Estudo de Caso para Escolha de Tecnologia de Processo em Macaé, Brasil

Ana Luiza Rivello Crivelaro, Marcos Antonio Cruz Moreira, José Augusto Ferreira da Silva

O objetivo da pesquisa foi analisar o uso, como material palhoso, de serragem adquirida em uma madeireira da cidade de Criciúma-SC, proveniente de madeira não tratada, para evitar a presença de componentes químicos que pudessem interferir na atividade microbiana. Os resíduos orgânicos utilizados foram coletados em residências do Bairro Universitário e em restaurantes da cidade de Criciúma num total de aproximadamente 150 kg (MARAGNO; TROMBIM; VIANA, 2013).

Com o final da pesquisa averiguou-se que a serragem utilizada como material palhoso resultou em um composto com excelente grau de maturação utilizando apenas 35,5 kg de resíduo orgânico e 6 kg de serragem. A fase de degradação ativa do processo analisado foi curta e durou 6 dias. Por outro lado, a fase de resfriamento foi mais longa, levando 11 dias para atingir a temperatura ambiente. O período de maturação, por sua vez, durou 55 dias e o processo como um todo requereu 73 dias de compostagem.

Em pesquisa realizada por Silva et al. (2015), foi um reator biológico constituído por quatro caixas plásticas, cada uma com volume de 38 L, encaixadas e vedadas (Figura 4). As caixas superiores receberam os resíduos orgânicos domésticos, e elas foram perfuradas no fundo com uma broca de três milímetros de diâmetro, possibilitando a percolação do líquido até a caixa base e evitando o encharcamento do material depositado no recipiente.

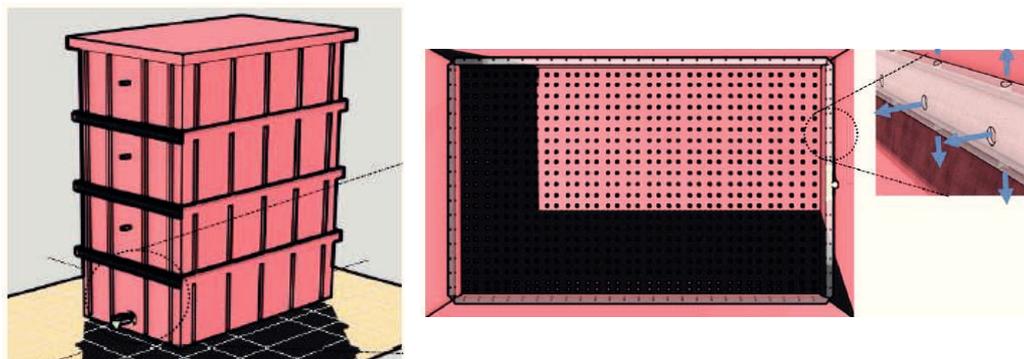


Figura 4. Reator biológico utilizado em pesquisa de Silva et al. (2009)

Fonte: Silva et al. (2015)

Cada caixa é acoplada a um compressor de ar de potência igual a 1,2 W e vazão de 2 litros por minuto, que é acionado por um temporizador. A utilização de mangueiras (em toda a sua extensão) de policloreto de polivinila (PVC) coladas em todo o perímetro do recipiente permitiu a condução de ar uniformemente.

O sistema foi utilizado em um período de seis meses por uma família composta por duas pessoas adultas que realiza todas as refeições em casa e não desperdiça alimentos pós-preparo. Para abastecimento da composteira primeiramente os resíduos eram acondicionados em um balde (vedado, impossibilitando a entrada de insetos) de 8,5 L e somente com a capacidade máxima atingida eram transferidos para a caixa superior do equipamento, que possuía uma camada (aprox. 2 cm) de serragem, pré-distribuída no fundo.

Gestão de Resíduos Sólidos e Compostagem Orgânica: Estudo de Caso para Escolha de Tecnologia de Processo em Macaé, Brasil

Ana Luiza Rivello Crivelaro, Marcos Antonio Cruz Moreira, José Augusto Ferreira da Silva

.....
Silva et al. (2015) concluíram que o sistema dimensionado dessa forma tem a capacidade de compostar 50 L de resíduos orgânicos num período de aproximadamente um mês, a produção de composto orgânico atingiu em média 15,2 L por caixa em um período de 60 dias, contados a partir da última deposição de resíduos orgânico na caixa em que ele foi produzido. Após a maturação, também foi contabilizada em cada recipiente a geração de 3,85 litros de biofertilizante, que é o líquido oriundo da decomposição dos resíduos orgânicos.

As análises químicas demonstraram que o composto tinha uma quantidade significativa de macronutrientes, representados por N, P, K. A relação C/N apresentou-se relativamente elevada devido à degradação incompleta do carbono contido na complexa composição da serragem.

Em relação ao consumo energético do sistema, foi gasto 1,08 kW durante todo o período de compostagem. Isso resultaria em um consumo energético anual de aproximadamente 5,25 kW se a composteira fosse utilizada sem interrupções.

5 Tecnologias de Processo

A palavra Tecnologia (do grego *tecno* — «técnica, arte, ofício» e *logia* — «estudo») é um termo que envolve o conhecimento técnico e científico e a aplicação deste conhecimento através de sua transformação no uso de ferramentas, processos e materiais. Slack, Chambers e Jonhston (2008) definem como “tecnologia de processo” as máquinas, equipamentos e dispositivos que ajudam a produção a transformar materiais, informações e consumidores de forma a agregar valor e atingir os objetivos estratégicos da produção.

Segundo Slack, Chambers e Jonhston (2008), os gerentes de produção estão continuamente envolvidos com o gerenciamento de tecnologias de processo e para isso ser efetivo, eles devem ser capazes de: articular como a tecnologia pode melhorar a eficácia da operação; estar envolvidos na escolha da tecnologia em si; gerenciar a instalação e a adoção da tecnologia de modo que não interfira nas atividades em curso na produção; integrar a tecnologia com o resto da produção; monitorar continuamente seu desempenho; e atualizar ou substituir a tecnologia quando necessário.

A compostagem orgânica quando é realizada pela metodologia de reatores biológicos, deve ser vista como um processo de fabricação, dessa forma é importante que a tecnologia a ser utilizada no processo seja escolhida de forma consciente pelos atores envolvidos na decisão. O reator biológico, deve ser definido após estudos prévios, pois falhas no processo de compostagem podem gerar adversidades como mau cheiro, elevado tempo para maturação do resíduo e atração de roedores e/ou insetos, que podem acarretar a descontinuação do projeto de gerenciamento de resíduos orgânicos.

Gestão de Resíduos Sólidos e Compostagem Orgânica: Estudo de Caso para Escolha de Tecnologia de Processo em Macaé, Brasil

Ana Luiza Rivello Crivelaro, Marcos Antonio Cruz Moreira, José Augusto Ferreira da Silva

6 Metodologia

Esta pesquisa é de caráter aplicado, visto que se limita a uma Instituição de Ensino específica (IFFluminense *Campus Macaé*) gerando conhecimento prático com interesse local. Consiste em uma pesquisa exploratória com levantamentos bibliográficos e estudo de caso.

6.1 Estudo de Caso

6.1.1 Local de Estudo

O Instituto Federal Fluminense *Campus Macaé* está localizado no Bairro Jardim Guanabara, às margens da Lagoa de Imboassica (Figura 5).

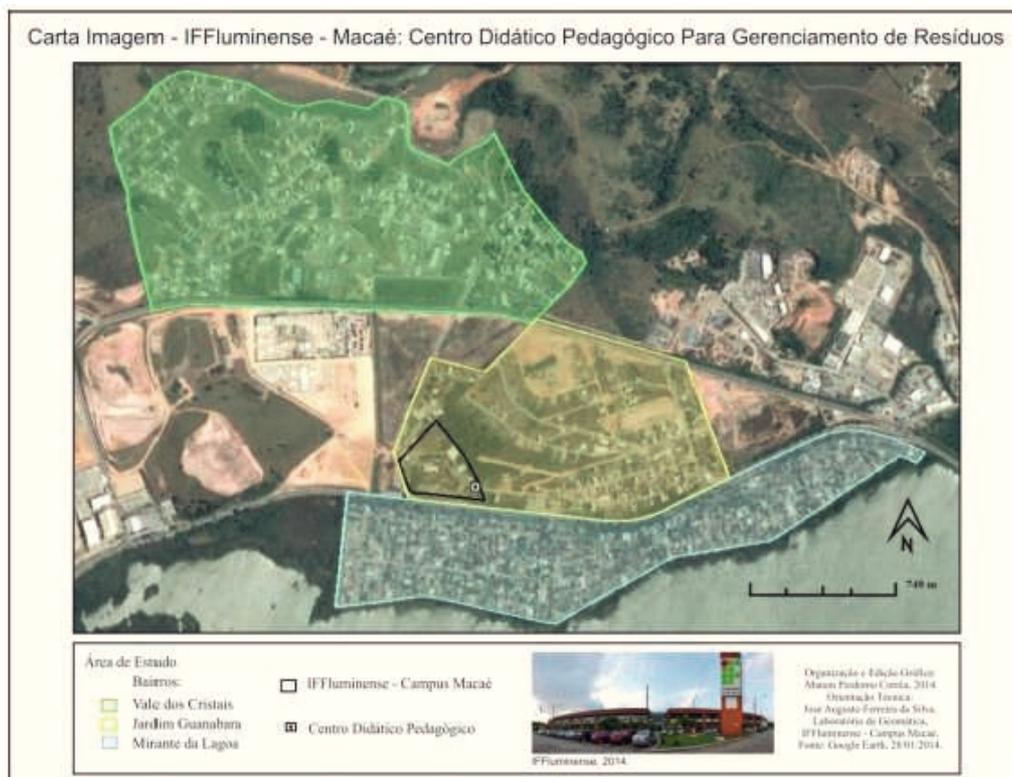


Figura 5. Localização do IFFluminense campus Macaé

Fonte: Corrêa (2015)

Atualmente, o IFFluminense *Campus Macaé* possui cerca de mil e quinhentos alunos matriculados e 250 servidores. O *campus* oferece cursos em vários níveis de ensino, como o ensino médio integrado, cursos técnicos, programa de ensino para jovens e adultos, curso superior e pós-graduação *stricto sensu*.



Gestão de Resíduos Sólidos e Compostagem Orgânica: Estudo de Caso para Escolha de Tecnologia de Processo em Macaé, Brasil

Ana Luiza Rivello Crivelaro, Marcos Antonio Cruz Moreira, José Augusto Ferreira da Silva

6.1.2 Caracterização dos resíduos gerados

A fim de quantificar os RS orgânicos gerados no IFFluminense *Campus Macaé*, foi feito um levantamento através de entrevistas com os responsáveis pela Cantina (gestão própria) e pelo restaurante (gestão terceirizada). Com orientação, os profissionais da área da cozinha foram instruídos a separar os restos orgânicos a fim de que fossem pesados. Dessa forma, estimou-se uma geração semanal de aproximadamente 230 kg de resíduos orgânicos.

Os resíduos orgânicos de jardinagem são compostos por aparas de grama, folhas, flores e frutos caídos das copas das árvores e são depositados em um fragmento de mata, pertencente ao IFFluminense, em área adjacente ao prédio administrativo, os mesmos não foram quantificados, mas serão utilizados como material palhoso na compostagem, pois são ricos em carbono, devendo ser misturados em proporções adequadas junto aos resíduos orgânicos ricos em nitrogênio descartados pelos restaurantes.

7 Resultados e discussão

O processo de compostagem é constituído por várias etapas (Figura 6) sendo possível a utilização de tecnologias em cada uma delas, porém o presente trabalho objetivou analisar somente os reatores biológicos. No Brasil existe uma cultura de utilização de tecnologias estrangeiras, que alcançaram êxito em países considerados “desenvolvidos”, e que podem ser importadas e aplicadas à nossa realidade. Porém, a importação de tecnologia ou de sistemas de tratamento para RSU só deve ser feita após estudo prévio, que indique sua viabilidade técnica e econômica, considerando-se as demais alternativas disponíveis no mercado.

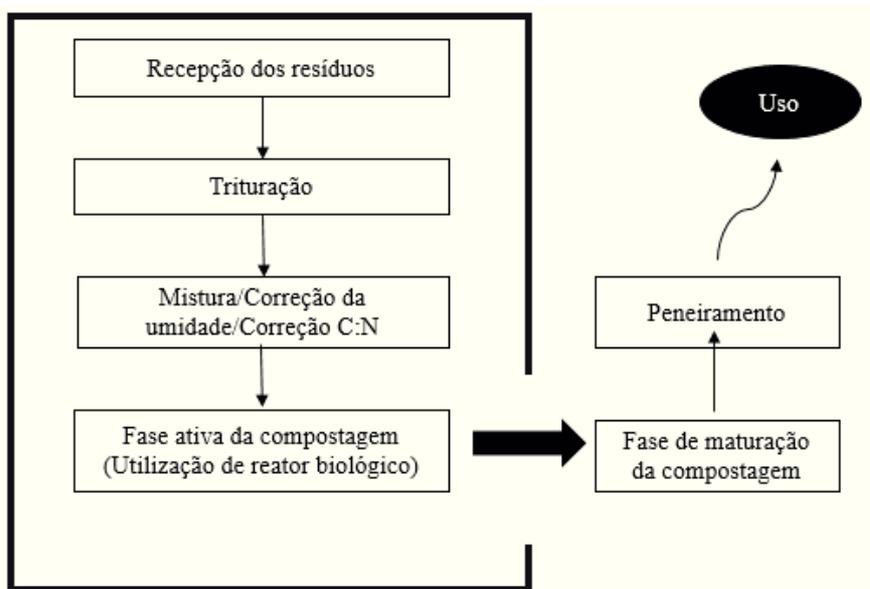


Figura 6. Sistematização do processo de compostagem
Fonte: Adaptado de Pereira Neto (2007, p.73)



Gestão de Resíduos Sólidos e Compostagem Orgânica: Estudo de Caso para Escolha de Tecnologia de Processo em Macaé, Brasil

Ana Luiza Rivello Crivelaro, Marcos Antonio Cruz Moreira, José Augusto Ferreira da Silva

7.1 Escolha da Tecnologia

Para auxiliar na escolha da tecnologia a ser utilizada, foi elaborado um método de avaliação multicritério ordinal (Figura 7) que tem como objetivo a avaliação das alternativas escolhidas de acordo com critérios predefinidos.

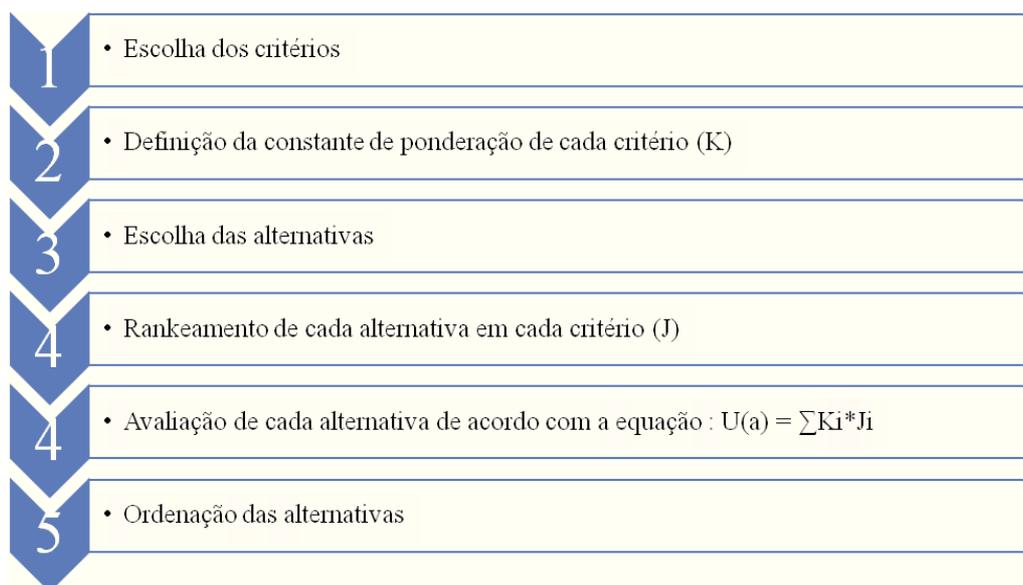


Figura 7. Metodologia de avaliação multicritério

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

A primeira etapa do método consiste na escolha dos critérios para o julgamento das alternativas. No presente estudo foram escolhidos aqueles considerados como pertinentes à realidade do IFF *Campus* Macaé, que foram:

- Capacidade de processamento: relacionado à quantidade de resíduo que cada equipamento consegue processar.
- Investimento inicial: Valor do equipamento.
- Custo de processamento: Custos relacionados a consumo energético e/ou manutenção.
- Tempo de compostagem: Tempo total de compostagem considerando degradação ativa e maturação.

O segundo passo compreende a definição das constantes de ponderação (K) (Tabela 2) que expõem a importância dada pelo autor da decisão a cada critério de avaliação. A soma dessas constantes deve ser equivalente a 1.

A escolha das alternativas, que consta como a terceira etapa do método, refere-se à limitação dos reatores escolhidos para a avaliação. No presente trabalho avaliou-se os reatores que foram demonstrados no tópico 4.1.



Gestão de Resíduos Sólidos e Compostagem Orgânica: Estudo de Caso para Escolha de Tecnologia de Processo em Macaé, Brasil

Ana Luiza Rivello Crivelaro, Marcos Antonio Cruz Moreira, José Augusto Ferreira da Silva

Para uso desse método, as alternativas foram avaliadas em cada critério de acordo com a adequação a realidade do IFF *Campus* Macaé em um *range* que varia de 1 (pouco adequado) a 5 (muito adequado) (Tabela 2), portanto destaca-se que o resultado dessa análise não deve ser utilizado para qualquer instituição, pois foi feita de acordo com a quantidade de resíduo gerada no IFFluminense, o espaço disponibilizado para a construção do pátio de compostagem e a disponibilidade de recursos financeiros da Instituição.

Tabela 2. Análise qualitativa dos equipamentos citados na revisão

	Investimento Inicial	Custo de processamento	Tempo de Compostagem	Capacidade de processamento
Santos (2011)	1	3	2	5
Guidoni et al. (2013)	5	5	4	4
Maragno, Trombim e Viana (2013)	5	5	3	2
Silva et al. (2015)	4	4	5	2
Constante de ponderação (K)	0,3	0,25	0,25	0,20

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Para a ordenação dos reatores biológicos, cada alternativa (a_n) foi avaliada realizando-se um somatório ponderado de acordo com a seguinte equação:

$$U(a_n) = \sum_{i=1}^4 K_i * J_i$$

Sendo J o valor recebido pela alternativa (a_n) no i-ésimo critério de avaliação e K a constante de ponderação deste i-ésimo critério. Portanto, os reatores serão ordenados (Etapa 5) de modo decrescente.

Isto posto, após os cálculos e a ordenação (Tabela 3), concluímos que a tecnologia mais adequada é a elaborada por Guidoni et al. (2013), sendo necessários quatro tambores para o gerenciamento dos resíduos gerados pelo IFFluminense.

Tabela 3. Ordenação das alternativas

Guidoni et al. (2013)	4,55
Maragno, Trombim e Viana (2013)	3,9
Silva et al. (2015)	3,85
Santos (2011)	2,55

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)



Gestão de Resíduos Sólidos e Compostagem Orgânica: Estudo de Caso para Escolha de Tecnologia de Processo em Macaé, Brasil

Ana Luiza Rivello Crivelaro, Marcos Antonio Cruz Moreira, José Augusto Ferreira da Silva

8 Conclusão

A compostagem é uma ferramenta efetiva para a gestão de resíduos e foi determinada pela PNRS como destinação ambientalmente adequada dos RS orgânicos. Sendo uma parcela significativa dos RS domiciliares formada por matéria orgânica, instituições de ensino e pesquisa estão buscando aprimorar a técnica visando otimizar o processo para que o mesmo possa ser utilizado tanto em pequena como em larga escala.

Os reatores biológicos são equipamentos utilizados para acelerar a fase da degradação ativa, pois o controle de parâmetros diretamente relacionados com a eficiência do processo é facilitado em um ambiente confinado. Entretanto, a adoção de tecnologias só deve ser feita quando fundamentada em análises técnicas, apoiada no diagnóstico e levantamento de dados que indiquem ser uma solução viável.

Com o intuito de se instalar um pátio de compostagem para os resíduos gerados no IFFluminense *Campus* Macaé, o presente trabalho analisou a realidade do Instituto para propor uma tecnologia de processo para uma gestão eficiente.

Conclui-se que a tecnologia mais adequada para o IFFluminense *Campus* Macaé é formada por um tambor com pequenas perfurações na parte inferior, o que propicia uma aeração mais eficiente.

É necessário destacar que um projeto de gestão deve ser periodicamente revisado, pois a mudança de qualquer recurso pode interferir na eficiência do processo. Desse modo, é recomendado que haja uma avaliação contínua visando identificar eventuais mudanças que levem à necessidade de readequação do reator.

Referências

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2011*. São Paulo, 2012. 186p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13.591: Compostagem*. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1996. 4 p.

BLACK, J. T. *O projeto da fábrica com futuro*. Porto Alegre, RS: Ed. Artes Médicas Sul Ltda, 1991.

BOSCOV, M.E.G. *Geotecnia Ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

BRASIL. *Constituição Federal de 1988*. Promulgada em 5 de outubro de 1988. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm >. Acesso em: jun. 2017.

BRASIL. *Lei nº 5.318, de 26 de setembro de 1967*. Institui a Política Nacional de Saneamento e cria o Conselho Nacional de Saneamento.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. FUNASA. *Consórcios Públicos e Gestão Associada: Uma alternativa para os serviços públicos de saneamento*. Versão preliminar sujeita a revisão e correções. Brasília: FUNASA, 2007. 35p. (Coleção Engenharia de Saúde Pública).

BRASIL. *Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001*. Regulamenta os Arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.



Gestão de Resíduos Sólidos e Compostagem Orgânica: Estudo de Caso para Escolha de Tecnologia de Processo em Macaé, Brasil

Ana Luiza Rivello Crivelaro, Marcos Antonio Cruz Moreira, José Augusto Ferreira da Silva

BRASIL. Lei nº 11.079, de 30 de dezembro de 2004. Institui normas gerais para licitação e contratação de parceria público-privada no âmbito da administração pública.

BRASIL. Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005. Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro 1995; revoga a lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 05 de janeiro de 2007.

BRASIL. Lei nº 12.305, 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 03 de agosto de 2010

BRASIL. Decreto-lei nº 248, de 28 de fevereiro de 1967. Institui a Política Nacional de Saneamento Básico, cria o Conselho Nacional de Saneamento Básico e dá outras providências.

CARNEIRO, C. L. Plano de Gerenciamento integrado de resíduos sólidos em um restaurante institucional: uma ferramenta operacional, visando melhorias na gestão ambiental. *Holos Environment*, [Rio Claro, São Paulo], v. 13, n. 2, p.130-140, 2013.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. *Administração de Produção e Operações*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

CORRÊA, M. P. *Estudo de viabilidade para implementação de um centro didático-pedagógico para o gerenciamento integrado de resíduos sólidos no Instituto Federal Fluminense, Campus Macaé*. 2015. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Instituto Federal Fluminense, Macaé, 2015.

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

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. PROSAB: Programa de pesquisa em saneamento básico: Manual prático para a compostagem de bio-sólidos. Rio de Janeiro: ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999.

FIALHO, L. L.; SILVA, W. T.; MILORI, D. M. B. P.; SIMÕES, M. L.; NETO, L. M. *Monitoramento químico e físico do processo de compostagem de diferentes resíduos orgânicos*. São Carlos: EMBRAPA, nov. 2005. Circular técnica Embrapa.

GUIDONI, L. L. C. et al. Compostagem domiciliar: implantação e avaliação do processo. *Revista TECNO-LÓGICA*, Santa Cruz do Sul, v. 17, n. 1, p. 44-51, jan./jun. 2013.

GROSSI, M. G. L. *Avaliação da qualidade dos produtos obtidos de usinas de compostagem brasileiras de lixo doméstico através de determinação de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas*. Tese (Doutorado) – Instituto de Química da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

HELLER, L.; CASTRO, J. E. *Política Pública e Gestão de Serviços de Saneamento*. Ed. Ampl. Belo Horizonte: Editora UFMG; Rio de Janeiro: Editora Fiocruz. 2013.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. *Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado*. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

JACOBI, P.; BESEN, G. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. *Estudos Avançados*, v.25, p. 71, 2011.

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



Gestão de Resíduos Sólidos e Compostagem Orgânica: Estudo de Caso para Escolha de Tecnologia de Processo em Macaé, Brasil

Ana Luiza Rivello Crivelaro, Marcos Antonio Cruz Moreira, José Augusto Ferreira da Silva

KIEHL, E. J. *Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto*. 4. ed. Piracicaba: E. J. Kiehl, 2004. 173 p.

KIEHL, E. J. *Novo fertilizantes orgânicos*. 1. ed. Piracicaba: E. J. Kiehl, 2010.

LEITE, W. C. A. *Estudo da Gestão de Resíduos Sólidos: uma proposta de modelo tomando a Unidade de Gerenciamento de Recursos hídricos (UGRHI-5) como referência*. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, USP, 1997.

LEITE, W. C. A. et al. *A Política Nacional de Resíduos Sólidos: Experiências Brasileiras na Elaboração dos Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos*. In: CONGRESSO DE MEDIO AMBIENTE. AUGM, 7., 2012, UNLP La Plata Argentina.

LELIS, M. P. N.; PEREIRA NETO, J. T. "Usinas De Reciclagem De Lixo": Porque Não Funcionam? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. Trabalho Técnico. João Pessoa: Abes, 2001. p. 1-9.

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, 2007.

MILLER, F. C. Composting as a process base on the control of ecologically selective factors. *Meeting, F.B. Soil Microb. Ecol.*, v.18: p.515- 543, 1992.

MONTEIRO, J. H. P. et al. *Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos*. Coordenação técnica Victor Zular Zveibil. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MORREL, J. L. et al. Methods for evaluation of the maturity of municipal refuse compost. In: Gasser, J.K. *Composting of agricultural and other wastes*. London: Elsevier, 1985. p. 56-72.

OLIVERIO, J. L. *Projeto de fábrica: Produtos, processos e instalações industriais*. São Paulo: IBLC. Instituto Brasileiro do Livro Científico Ltda, 1985. Apostila.

PEIXOTO, R. T. G. et al. Compostagem. In: BATISTA, M. A.; PAIVA, D. W.; MARCOLINO, A. (Org.). *Solos para Todos: Perguntas e Respostas*. Rio de Janeiro: Embrapa, 2014. p. 1-89.

PEREIRA NETO, J. T. *A low cost technology approach on the treatment of municipal refuse and sewage sludge using aerated static pile composting*. 1987. 198f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Leeds, Inglaterra, 1987.

PEREIRA NETO, J. T. *Manual de Compostagem*. Belo Horizonte: UNICEF, 1996. 56p.

PEREIRA NETO, J. T. *Manual de Compostagem: Processo de baixo custo*. Viçosa: UFV, 2007. 81p.

PORTILHO, M. F. F. *Profissionais do lixo: um estudo sobre as representações sociais de engenheiros, garis e catadores*. Dissertação (Mestrado) - Programa EICOS. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1997.

PRIMAVESI, A. *O manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais*. São Paulo: Nobel, 1981. 535 p.

REBOLLIDO, R.; MARTÍNEZ, J.; AGUILERA, Y.; MELCHOR, K.; KOERNER, I.; STEGMANN, R. Microbial Populations During Composting Process Of Organic Fraction Of Municipal Solid Waste. *Applied Ecology And Environmental Research*, v. 6, p. 61-67, 2008.

REICHERT, G. A.; MENDES, C. A. B. Avaliação do ciclo de vida e apoio à decisão em gerenciamento integrado e sustentável de resíduos sólidos urbanos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v.19, n.3, 2014.



Gestão de Resíduos Sólidos e Compostagem Orgânica: Estudo de Caso para Escolha de Tecnologia de Processo em Macaé, Brasil

Ana Luiza Rivello Crivelaro, Marcos Antonio Cruz Moreira, José Augusto Ferreira da Silva

RIVETTI, L. V.; SIMONATO, D. C.; COSTA, S. O.; FIGUEIREDO, R. A. Análise documental e de percepção acerca da gestão de resíduos em um campus universitário (SP, Brasil). *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 3, p. 98-111, 2012.

SANTOS, D. C. B. *Protótipo de bioprocessador mecanizado para beneficiamento do resíduo orgânico pelo método da compostagem com produção de adubo em espaço reduzido e drenagem do chorume resultante*. 2013. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Instituto Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2013.

SHARMA, V. K. et al. Processing of urban and agroindustrial residues by aerobic composting: review. *Energ. Convers. Manage.*, v. 38, p.453-478, 1997.

SILVA, C. D. G. et al. Compostagem automatizada de resíduos orgânicos domésticos. In: SIMPÓSIO CIENTÍFICO DE GESTÃO AMBIENTAL, 4., 2015, Piracicaba. IV SIGA Ciência. Piracicaba: Esalq-USP, 2015. v. 1, p. 1-5.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. *Metodologia da Pesquisa e elaboração de Dissertação*. 3. ed. rev. atual. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JONHSTON, R. *Administração da Produção*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 747 p.

SOUTO JÚNIOR, F. S. *Desenvolvendo e Gerenciando Compostagem de Resíduos Urbanos: para geração de renda e repasse à acrevi*. 2011. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

SOUZA, A. L. K. et al. Compostagem Com Aeração Forçada Como Alternativa De Aproveitamento Dos Resíduos Gerados Pela Agroindústria Conserveira. *Revista Brasileira de Agrociências*, Pelotas, v. 16, p. 69-75, 2010.

TIQUIA, S. M.; N. F. Y. Tamand I. J. Hodgkiss. Microbial activities during composting of spent pig manure sawdust litter at derent moisture contents. *BioresourceTechnol.*, v. 55. p. 201-206, 1996.

YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Tradução de Daniel Grassi. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZUCCONI, F.; DE BERTOLDI, M. In *Compost: Production, Quality and Use*. London: Elsevier, 1987. p. 30-50.