



# RESÍDUOS ORGÂNICOS NO BRASIL: MÉTODOS DE COMPOSTAGEM PARA PEQUENAS COMUNIDADES RURAIS

## ARTIGO DE REVISÃO

SOARES, Vinícius Barão <sup>1</sup>, SILVA, José Augusto Ferreira da <sup>2</sup>

SOARES, Vinícius Barão. SILVA, José Augusto Ferreira da. **Resíduos orgânicos no Brasil: métodos de compostagem para pequenas comunidades rurais.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 06, Ed. 06, Vol. 01, pp. 156-195. Junho de 2021. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/metodos-de-compostagem>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/metodos-de-compostagem

## RESUMO

Considerado o método de reaproveitamento mais aplicável para a fração orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), a compostagem - conversão biológica - atrai principalmente pelo baixo custo, portanto, o presente artigo discorre sobre a legislação referente aos resíduos sólidos no Brasil e os diferentes métodos de compostagem. O objetivo foi analisar os métodos de compostagem orgânica de baixo custo em zonas rurais como ferramenta de gestão de resíduos orgânicos para a geração de um composto orgânico estável e de qualidade para ser utilizado na agricultura. Para tanto, foi realizada uma revisão sistemática da literatura utilizando-se de estratégia bibliométrica no portal de Periódicos Capes, por meio de palavras-chave relacionadas ao tema. Constatou-se que, de fato, o método denominado aeração forçada se adapta melhor às possibilidades, tendo uma melhor decomposição de resíduos orgânico por

<sup>1</sup> Graduado em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Estácio de Sá (UNESA). Pós-graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade Redentor. Pós-graduado em Ciências Atmosféricas para Engenheiros, Ambientalistas e Educadores latu sensu pelo Laboratório de Meteorologia do Centro de Ciência e Tecnologia (LAMET/CCT) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF).

<sup>2</sup> Doutor em Geografia pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense), Campus Macaé, Macaé/RJ, Brasil.



meio da potencialização da ação de microorganismos ao longo do processo e recomenda-se que a propriedade rural identifique o melhor meio de utilizar e preservar, potencializando não só o desenvolvimento sustentável, como também o aumento da produtividade na propriedade.

Palavras-chave: Resíduos sólidos, Métodos de compostagem, composto orgânico.

## 1. INTRODUÇÃO

O resíduo sólido é um dos problemas ambientais mais graves gerados pela sociedade moderna através das atividades humanas. O crescimento e a longevidade populacional, associado à superurbanização e ao aumento da aquisição de novas tecnologias, produz imensas quantias de resíduos. Além do crescimento da geração de resíduos, observa-se ao longo dos últimos anos, mudanças significativas em suas composições e características, além do aumento de sua periculosidade (MAZZA et al, 2014). No Brasil, a problemática tem sido cada vez mais discutida tanto no âmbito jurídico, em normativas e legislações, como também nas práticas de gestão que envolvem o chamado tripé da sustentabilidade, composto por sociedade civil organizada, empresas públicas e privadas, bem como instituições de ensino.

Outrora, os resíduos orgânicos eram destinados a alimentação de animais e/ou consumidos pela natureza, porém esta passou a não dar conta de reciclar os subprodutos depositados nas áreas rurais sem nenhum tipo de tratamento ou simplesmente lançados em corpos hídricos, causando grande passivo ambiental.

A promulgação da Lei nº 12.305/2010 - Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) que determinou inicialmente a desativação dos lixões até 2014, versa em seu Art. 9º a ordem de prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, seguido por: não geração, reduzir, reutilizar, reciclar, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos resíduos cujas possibilidades técnicas e econômicas de tratamento tenham sido esgotadas (BRASIL, 2010). Essa visão integrada da gestão de resíduos, apoiada no conceito economia circular, é base para a logística reversa. É uma ordem com força legal, ou seja, é um dever segui-la em busca do



aumento da eficiência da cadeia produtiva e de serviços, utilizando as tecnologias adequadas.

Ainda sobre a questão da desativação dos lixões, a sanção da Lei nº 14.026/2020 – Novo Marco Legal do Saneamento Básico, promoveu alterações específicas no texto da PNRS, fixando o período máximo de dez anos para revisão dos planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos e estabeleceu que a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos deveria ser implantada até 31 de dezembro de 2020, exceto para os municípios que até essa data tenham elaborado plano intermunicipal ou plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos e que disponham de mecanismos de cobrança que garantam sua sustentabilidade econômico-financeira.

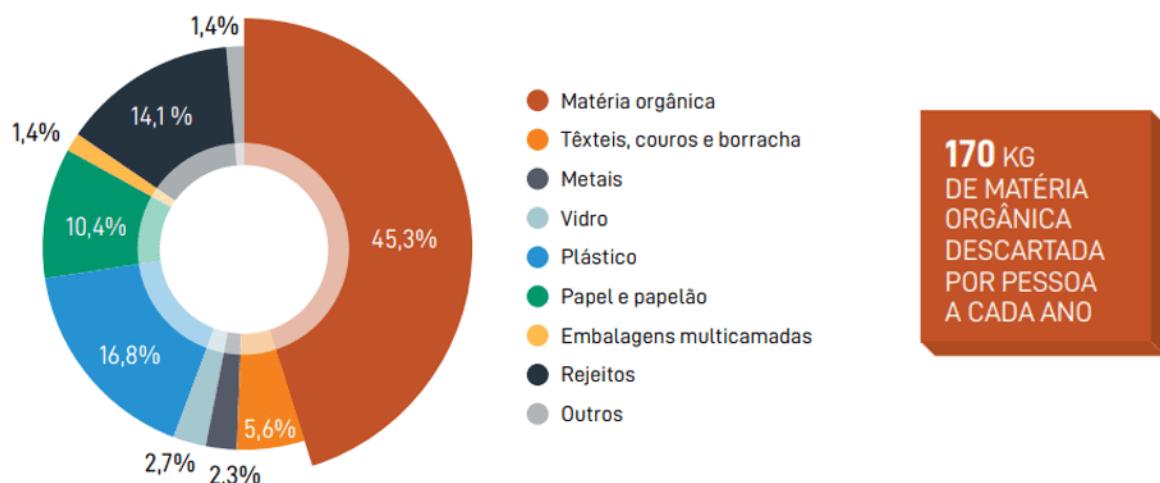
Nesses casos, atendidos tais requisitos legais, foram definidos os seguintes prazos: agosto de 2021, para capitais e cidades de regiões metropolitanas; agosto de 2022 para cidades com mais de 100 mil habitantes; agosto de 2023 para municípios com população de 50 mil a 100 mil habitantes; e agosto de 2024 é o prazo final, concedido para cidades com menos de 50 mil habitantes.

De acordo com pesquisa feita pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos – Abrelpe (2020), entre 2010 e 2019, a geração de RSU no Brasil registrou um incremento considerável, passando de 67 milhões para 79 milhões de ton./ano. Por sua vez, a geração per capita aumentou de 348 kg/ano para 379 kg/ano. Observou-se no Brasil, em todas as regiões, o crescimento da quantidade de resíduos coletados, passando de 59 milhões de toneladas em 2010 para 72,7 milhões, enquanto a cobertura de coleta foi de 88% para 92%.

Ainda conforme a Abrelpe (2020), no Brasil, a maioria dos RSU coletados são depositados em aterros sanitários, sendo que em uma década um aumento de 10 milhões de toneladas foi registrado, passando de 33 milhões de toneladas para 43 milhões de ton./ano. Por outro lado, a quantidade de resíduos que são descartados

em unidades inadequadas (lixões e aterros controlados) também cresceu, passando de 25 milhões de toneladas para pouco mais 29 milhões de ton./ano.

Com relação a composição gravimétrica dos resíduos sólidos, que se refere à categorização dos materiais descartados pela população, seu conhecimento é um passo fundamental para a gestão integrada e eficiente desses materiais. Na figura que segue, demonstra-se que a fração orgânica ainda permanece como principal componente do RSU, com 45,3%, uma redução de 6,1% comparado aos dados do Panorama Abrelpe 2018/2019 que era de 51,4%.



Fonte: Abrelpe, 2020.

Do ponto de vista sustentável, encarar a compostagem como uma biotecnologia ao tratamento da fração orgânica dos resíduos, significa colocá-la nos mais variados currículos técnicos superiores, e não a manter enquadrada apenas como “antiga técnica agrícola para aproveitar o esterco e restos vegetais nas pequenas propriedades agrícolas”, mas também inseri-la de forma consistente nos programas e planos de gestão de empresas e governos (INÁCIO; MILLER, 2009). Neste sentido, as instituições de ensino possuem fundamental papel no desenvolvimento de novas técnicas, sendo um laboratório de ideias sempre em busca de soluções viáveis.

Outro ponto importante nessa temática é a significativa despesa que produtores rurais tem com o subsídio de adubos químicos aos seus fornecedores para alavancar a



produção. Com a alta em preços de adubos químicos, a compostagem tem se apresentado como uma alternativa eficiente e viável para a minimização dos custos de produção com ingresso de energia externa a propriedade, tendo em vista a minimização e até mesmo a resolução do problema da geração de resíduos orgânicos na agroindústria e a possível economia com a disponibilização de composto de “qualidade” em substituição ao adubo químico (SOUZA et al, 2010).

Resíduos orgânicos são fontes para a prática da compostagem e, ainda, para a adubação visto que a mesma é rica em nutrientes que melhoram as propriedades biológicas, físicas e físico-químicas do solo, resultando num aumento de produtividade das culturas (SHARMA et al, 1997). Segundo D’almeida e Vilhena (2000), a compostagem é realizada em 4 fases diferentes, sendo assim: a primeira corresponde ao início do processo de decomposição da matéria orgânica; a segunda é caracterizada pela ocorrência das reações bioquímicas mais intensas; a terceira é caracterizada pela ocorrência do resfriamento; e a quarta corresponde a fase da cura, da maturação ou da humificação, onde o composto, por sua vez, é mineralizado. Posto que a atividade microbiana geralmente ocorre nas superfícies de uma partícula, sua atuação pode variar de acordo com o tamanho da mesma, sendo assim, quanto menor a partícula for, maior será a superfície ativa do material e consequentemente maior será o índice da atividade microbiana e da decomposição. Partículas menores favorecem à compactação, inibindo o fluxo do ar e diminuindo a disponibilidade da oxigenação para os microrganismos, de modo a diminuir a atividade microbiana (FIALHO et al., 2005). Nesse sentido, o sistema de compostagem com aeração forçada é visto como uma alternativa viável ao método tradicional de revolvimento das leiras.

Objetivou-se com este artigo analisar os métodos de compostagem orgânica de baixo custo em zonas rurais como ferramenta de gestão de resíduos orgânicos, transformando o resíduo em um produto estável e de qualidade para utilização agrícola.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

RC: 87434

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/metodos-de-compostagem>



## 2.1 EXPERIÊNCIAS MUNDIAIS EM GESTÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

Segundo Horta e Castro (2016), em outros países o termo reciclagem é utilizado tanto para materiais recicláveis como para resíduos orgânicos. Alguns países europeus fazem distinção dos resíduos que são dispostos nos aterros, uns com proibição da disposição, outros com um aumento na taxa de aterro. Países como Alemanha, Reino Unido, Áustria e Japão contam com planos de gestão de resíduos orgânicos, como descrito a seguir:

Desde 2012 em Londres os resíduos orgânicos são coletados de restaurantes, produção de alimentos e parques, e são destinados a uma central de compostagem. O composto é destinado ao Eco Park para ser vendido aos agricultores ou destinado aos parques da cidade, possibilitando um ciclo fechado dos resíduos (LONDON WASTE, 2014 apud HORTA E CASTRO, 2016).

Desde 1991 em Viena, os resíduos orgânicos são reciclados por meio de um pátio de compostagem aberto chamado Lobau. Este pátio tem uma capacidade anual de aproximadamente 150 mil toneladas e produz um composto com qualidade adequada para uso na agricultura. Existem 19 pontos de coleta de resíduos orgânicos no centro de Viena e, nos pontos de menor densidade populacional estão instalados cerca de 80 mil recipientes. Todos os anos, um total de aproximadamente 60 mil toneladas de materiais orgânicos são coletados a partir destes recipientes de resíduos orgânicos, e mais 30 mil toneladas provenientes dos centros de coleta de resíduos (VIENA, 2013 apud HORTA E CASTRO, 2016).

Na Alemanha, a coleta seletiva de resíduos orgânicos começou em 1985. Os resíduos coletados são transferidos para estações de tratamento de resíduos específicos, onde são compostados (aeróbio) ou fermentados (anaeróbio). Em 2011, cerca de 14 milhões de toneladas de resíduos orgânicos foram tratados biologicamente. Grande parte do resíduo orgânico foi compostado, ou seja, a energia contida não pode ser utilizada. O objetivo é aumentar a proporção de fermentação com recuperação de



biogás no futuro. Por outro lado, os agricultores são os maiores beneficiários da compostagem, pois utilizam 55% do composto em suas terras reduzindo assim a necessidade de aplicação de fertilizantes químicos. Uma combinação das duas formas de uso, como por exemplo a produção de biogás de resíduos orgânicos com uso subsequente dos digestores como fertilizante é também conhecida como uso em cascata, este uso está aumentando atualmente (ALEMANHA, 2013 apud HORTA E CASTRO, 2016).

Uma iniciativa de profissionais independentes de Waste Concern, Daca (Bangladesh) buscaram financiamento por meio dos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), para organizarem a coleta seletiva de resíduo orgânico nas habitações, mercados e sacolões com a finalidade de realizar a compostagem dos resíduos e posterior comercialização do produto (WILSON et al., 2012 apud HORTA E CASTRO, 2016).

No Japão há uma lei do ano 2007, de incentivo ao ciclo de reciclagem do alimento, exigindo que as indústrias alimentícias comprem seus produtos de produtores e agricultores que utilizam composto orgânico e ração animal oriundos de processos como a compostagem, e que os resíduos biodegradáveis da indústria sejam tratados de maneira que possam ser reutilizados pelos produtores e agricultores. O não cumprimento da lei acarreta notificações (TAKATA et al., 2012 apud HORTA E CASTRO, 2016).

## 2.2 POLÍTICA NACIONAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E CONCEITOS NORTEADORES

Em breve histórico da tratativa do gerenciamento integrado de resíduos sólidos a nível nacional, tem-se inicialmente a Lei nº 9.605/1998 – Lei de Crimes Ambientais, que define em seu Art. 54º, como crime ambiental, sendo penalizado com reclusão de 1 (um) a 5 (cinco) anos, o lançamento indevido de resíduos sólidos que não se enquadrem nas exigências legais ou em regulamentos específicos (BRASIL, 1998).



Em 2007, as diretrizes nacionais para saneamento básico são definidas pela Lei nº 11.445/2007, caracterizando a gestão de resíduos sólidos como serviço público e implementa atividades que buscam melhorar a salubridade ambiental, tais como coleta, transporte, triagem, reciclagem e compostagem (CORRÊA; SILVA, 2015).

Segundo documento de revisão do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) de 2008 (2019), foi diagnosticado que em 2017 foram recebidas 3 milhões de toneladas de resíduos em 991 unidades de triagem, e 0,2 milhão de toneladas em 68 unidades de compostagem (pátio ou usina); e ainda estimou que apenas 5,4% dos recicláveis presentes nos resíduos sólidos urbanos foram de fato recuperados. O que equivale a apenas 1,8% de reciclagem do total de resíduos coletados no país.

A Política nacional de gerenciamento integrado de resíduos sólidos surge para enfrentar os problemas causados pelo manejo inadequado dos resíduos sólidos e contribui para a melhoria dos índices de reciclagem e compostagem. Desse modo, traz instrumentos e diretrizes que colaboraram com o avanço para prevenção e redução da geração de resíduos (NÉTO; NETO, 2017).

A Lei nº 14.026/2020, como visto, trouxe diversas premissas e determinações que, em sendo implementadas, terão o condão de estimular os tão almejados avanços para o setor, com grande potencial para atrair os recursos demandados para sua efetiva adequação e universalização, vez que a segurança jurídica, por meio de contratos estruturados e de longo prazo, e a sustentabilidade econômico-financeira, por meio de instrumento de remuneração com cobrança dos usuários, são fatores fundamentais para atrair investimentos e viabilizar soluções consistentes (ABRELPE, 2020).

## **2.3 LEI Nº 12.305/2010 - POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS (PNRS)**



Após 20 anos de tramitação no Congresso Nacional, uma aprovação praticamente unânime na Câmara dos Deputados e no Senado e mais de 10 anos de sua aprovação, a Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, estabelece diretrizes nacionais relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, responsabilidade compartilhada por todo ciclo da gestão dos resíduos por parte dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis, e é atualmente o principal marco regulatório para o setor de resíduos sólidos no Brasil.

Neste sentido, a referida lei estabelece normas para a prestação de serviços, instrumentos, mecanismos para regulação, diretrizes para a participação e controle social. As metas foram planejadas a nível nacional, estadual, microrregional, intermunicipal, metropolitano e municipal. De forma análoga, os particulares também devem ter seus próprios Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) em consonância com a lei nº 12.305/2010.

No seu Art. 9º, a PNRS preconiza que na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte hierarquia: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010). Assim, é de suma importância a existência de ações preventivas por meio da educação ambiental de qualidade, pautada na Lei 9.795 de 27 de abril de 1999 - Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA), para evitar a geração de resíduos. Somente após o tratamento em meios como: segregação na fonte, coleta seletiva, reuso, incineração, compostagem e reciclagem é que se reduz a agressão ao ambiente natural e os rejeitos podem ser levados à disposição final ambientalmente adequada em aterros sanitários com o confinamento dos resíduos em camadas, impermeabilização, drenagem de gases e tratamento de chorume.

A PNRS une uma série de conceitos modernos para implementação de ferramentas que auxiliam e norteiam o processo de gestão de resíduos. Pode-se destacar desses conceitos e ferramentas o acordo setorial entre poder público e privado, que define a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto, a logística reversa, a



coleta seletiva, a criação de um sistema de informações sobre a gestão de resíduos sólidos, a inclusão de catadores e a criação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, elaborado com metas e estratégias nacionais (NÉTO, NETO, 2017).

Segundo os autores da Abrelpe (2018/2019, p. 62-3), o atual cenário da gestão dos resíduos sólidos no Brasil,

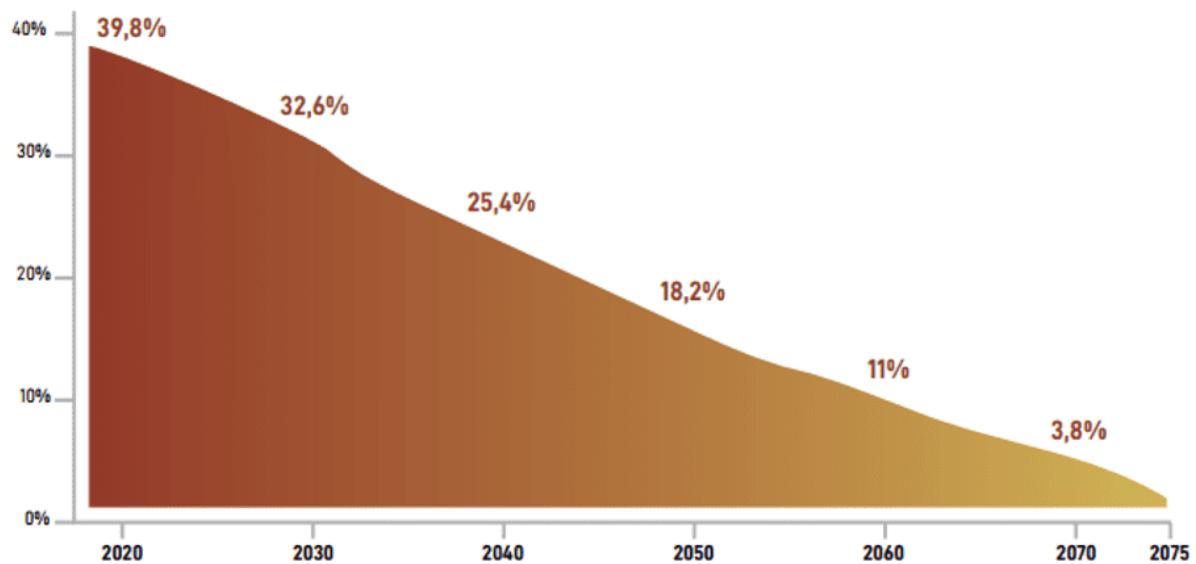
(...) apesar de passados dez anos da vigência da Política Nacional de Resíduos Sólidos, o setor ainda apresenta alguns déficits consideráveis, principalmente no tocante a coleta seletiva, recuperação de materiais e disposição final dos resíduos coletados. A coleta seletiva está distante de ser universalizada, os índices de reciclagem são bastante incipientes e pouco evoluem, e os lixões estão presentes em todas as regiões, com impactos diretos sobre o meio ambiente e as pessoas – estas, além de serem afetadas por várias doenças, com custos bilionários para tratamentos de saúde, sofrem com o afastamento do mercado de trabalho. Enquanto o mundo avança em direção a um modelo mais moderno e sustentável de gestão de resíduos, o Brasil continua apresentando as deficiências verificadas há vários anos, ficando abaixo dos indicadores médios de nações da mesma faixa de renda e desenvolvimento. Ao nos aproximarmos do limiar de mais uma década, percebe-se que pouco foi feito com o objetivo de realmente reverter o quadro deficitário e que o tema ainda não constitui uma prioridade na agenda política e social do país. No entanto, é latente a falta de recursos específicos para custear as operações do setor. Ao mesmo tempo, a tributação aplicada sobre todo o sistema é uma das mais elevadas e não favorece práticas sustentáveis. Conforme os dados veiculados nesta edição, os serviços de limpeza urbana, que na ampla maioria das cidades dependem do orçamento geral do poder público, sofreram um recuo no montante aplicado e na geração de empregos, um efeito da crise que assolou a economia do país e afetou diretamente os cofres públicos, sempre muito limitados e cada vez mais comprimidos. Como já verificado em outros estudos, para viabilizar avanços e modernizar as infraestruturas na gestão de resíduos são necessários investimentos em novas plantas e recursos financeiros permanentes na sua operação. Para tanto, é indispensável a implementação de um sistema de remuneração direta pelos usuários, assim como acontece em diversos países e em outros setores aqui no Brasil. Tal medida, além de assegurar a sustentabilidade econômico-financeira das operações, propiciará maior justiça social, uma vez que deverá ser baseada no pagamento conforme a geração e utilização dos serviços. Essa solução desonerará os cofres públicos de um desembolso geral, possibilitando a aplicação dos recursos em outras áreas de interesse da sociedade. Os princípios e objetivos colocados pela PNRS em 2010 ainda não foram refletidos no mundo real, mas é urgente que sejam transformados em ações concretas. Para tanto, o Brasil precisa mudar



alguns paradigmas vigentes, sobretudo em relação ao engajamento da população, à governança político-institucional e ao custeio dos serviços.

Um dos problemas da PNRS é que embora seja uma lei altamente conceitual e uma das mais modernas e bem estruturadas do mundo, tem a deficiência da pegada prática. A lei traz amplos conceitos e princípios, mas ao mesmo tempo não traz os instrumentos suficientes e as indicações de como colocar tudo em prática (FILHO, 2020). Ao considerar a manutenção do cenário vigente – Unidades de destinação inadequadas ainda em operação, que atualmente recebem cerca de 40% do total de RSU coletado no país – seriam necessários 55 anos para que aterros controlados e lixões sejam encerrados, conforme demonstrado no gráfico a seguir, que evidencia a urgência de soluções para viabilizar as ações necessárias, de forma contínua e com sustentabilidade, para que o país possa superar essa chaga medieval de forma definitiva em todas as unidades da federação (ABRELPE, 2020).

Gráfico 1 – Evolução da situação na disposição inadequada do Brasil



Fonte: Abrelpe, 2020.

Os desafios para implementação efetiva da PNRS são muitos, e como registrados no Plano Nacional de Resíduos Sólidos, para garantir a sustentabilidade na prática, os novos paradigmas da gestão de resíduos sólidos tendo como referência o citado plano, são principalmente:

- Elaboração, licenciamento/aprovação e implementação pelo poder público de planos de gerenciamento integrado ou simplificado em 5.570 municípios;
- Eliminação dos lixões/aterros controlados e a recuperação ambiental das áreas utilizadas, tratando o passivo ambiental;
- Elaboração, aprovação e implementação dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos elaborados pelos geradores (particulares) de resíduos;
- Seleção do local, projeto, licenciamento, implantação e gestão para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (aterro sanitário);
- Implantação e universalização da coleta seletiva, logística reversa e destinação dos resíduos orgânicos como ações prévias ao aterro sanitário;
- Inclusão das cooperativas/associações organizadas – responsáveis pela coleta de materiais recicláveis e reutilizáveis – como sistemas produtivos, a fim de efetivar cidadania para estas pessoas;
- Gestão dos sistemas licenciados de tratamento para atender as demandas de resíduos perigosos, industriais e de serviços de saúde;



- Gestão e divulgação do Sistema Nacional de Informações sobre a gestão de resíduos (SINIR);
- Criação de incentivos para a destinação de resíduos sólidos;
- Implementação de programas de educação ambiental com foco nos resíduos sólidos.

Para que todas estas ações se viabilizem é necessário deixar de lado a ideia que a PNRS é a solução dos problemas, e que cada um de nós geradores de resíduos, façamos a nossa parte segregando os resíduos na origem, encaminhando para o destino correto e cobrando do poder público, fabricantes, importadores e distribuidores que também cumpram a sua parte no sistema (responsabilidade compartilhada).

## 2.4 LEGISLAÇÃO ESTADUAL

Na esfera estadual, inicia-se a tratativa de resíduos com a Lei nº 4.191/2003, que estabelece princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos referentes à geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos no estado do Rio de Janeiro, visando controle da poluição, da contaminação e a minimização de seus impactos ambientais (BRASIL, 2003).

Em 2014, o Rio de Janeiro implementa o Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS), seguindo o que indica a Lei nº 12.305/2010, no sentido de criar políticas públicas e estratégias para a questão dos resíduos sólidos (NÉTO; NETO, 2017).

O PERS tem como objetivo geral a adequação ao Plano Nacional de Resíduos Sólidos, porém, implanta ações específicas e diretrizes regionais. Pode-se destacar entre os objetivos específicos, o fomento e ampliação da capacidade de gestão dos resíduos sólidos a nível municipal e a transparência e controle das informações municipais e privadas na geração e destinação final ambientalmente adequada de resíduos (RIO DE JANEIRO, 2003).

## 2.5 LEGISLAÇÃO MUNICIPAL



O município de Rio das Ostras/RJ, que é base do estudo, até a formulação desta pesquisa, não possui o Plano Municipal de Gestão Integrado de Resíduos Sólidos (PMGIRS), sendo este, um dos instrumentos, de acordo com o Art. 8º da Lei 12.305/2010 - PNRS. Ressalto que o PMGIRS é condição para o acesso aos recursos da União, destinados a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos, obtenção de benefícios por incentivos, financiamentos de entidades federais de créditos e fomento para tal finalidade.

Até o momento do desenvolvimento desta pesquisa, o município conta com um Termo de Referência Nº 016/2019, que deu origem ao processo administrativo 39738/2019, ambos os documentos tratam da contratação de consultoria especializada, pessoa jurídica, visando à elaboração do PMGIRS. Nos objetivos específicos do referido Termo de Referência, dentre as soluções e adequações técnicas para ampliação e melhoria dos sistemas de coleta seletiva, tratamento e disposição em aterro sanitário de resíduos sólidos, considerando a gestão sustentável, está a Usina de Compostagem (UCO).

O PMGIRS deverá contemplar ainda ações específicas a serem desenvolvidas no âmbito dos órgãos da administração pública, com vistas à utilização racional dos recursos ambientais, combate a todas as formas de desperdício e à minimização da geração de resíduos sólidos, além de propor ações visando a operacionalização do aterro sanitário, onde recentemente o município teve problemas de contaminação e interdição pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA). O PMGIRS deve, além das obrigações citada acima, definir as condições mínimas a serem atendidas na gestão dos resíduos sólidos por meio de insumos e tecnologias apropriadas, de forma que os produtos possibilitem a indicação das soluções adequadas e viáveis para a gestão sustentável, tratamento e redução de impactos pelo manejo e disposição dos resíduos sólidos do município.

Diversas ações são tomadas diariamente no Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) para mitigação dos impactos ambientais, incluindo relatório anual dos resíduos



pesados conforme tabela abaixo, importante na definição de estratégias e tomada de decisões.

Tabela 1 – Relatório resíduos pesados (2019)

Mês	Período	Capina/ Galhada/ Roçada	Domiciliar	Entulho	Hospitalar	Inserviveis	Pneus	Orgânic o	Varrição	Outros	Ton. Mês
<b>Janeiro</b>	01/01 a 31/01/19	71.240	3.968.470	1.711.990	10.230	23.620	190	56.870	283.590	710	<b>6.126.910</b>
<b>Fevereiro</b>	01/02 a 28/02/19	69.090	3.228.600	1.265.250	9.440	4.850	- 6.600	23.250	205.440	0	<b>4.799.320</b>
<b>Março</b>	01/03 a 31/03/19	53.580	3.622.490	1.181.950	9.520	11.380	17.290	37.860	286.390	0	<b>5.220.460</b>
<b>Abril</b>	01/04 a 30/04/19	39.700	3.345.670	1.583.010	10.800	11.250	11.080	64.740	189.120	0	<b>5.255.370</b>
<b>Maio</b>	01/05 a 31/05/19	53.630	3.316.050	1.552.550	10.680	8.700	- 19.950	25.790	146.970	0	<b>5.094.420</b>
<b>Junho</b>	01/06 a 30/06/19	6.500	3.053.630	131.940	9.210	1.870	690	0	93.970	0	<b>3.297.810</b>
<b>Julho</b>	01/07 a 31/07/19	3.460	3.251.570	551.420	11.470	0	- 10.380	0	212.120	0	<b>4.019.660</b>
<b>Agosto</b>	01/08 a 31/08/19	13.070	3.096.080	1.672.390	10.580	3.000	- 1.800	0	226.140	0	<b>5.019.460</b>
<b>Setembro</b>	01/09 a 30/09/19	15.170	2.974.290	1.894.030	9.590	5.360	6.820	0	185.240	80	<b>5.090.580</b>
<b>Outubro</b>	01/10 a 31/10/19	33.750	3.494.220	2.054.620	10.580	5.990	- 700	0	229.670	400	<b>5.828.530</b>
<b>Novembro</b>	01/11 a 30/11/19	31.300	3.495.940	1.345.670	12.440	3.170	12.070	0	196.490	0	<b>5.097.080</b>
<b>Dezembro</b>	01/12 a 31/12/19	72.550	4.020.440	1.490.330	10.320	10.920	- 3.770	0	262.870	0	<b>5.863.660</b>
<b>Total</b>	<b>365 Dias</b>	<b>463.040</b>	<b>40.867.450</b>	<b>16.435.150</b>	<b>124.860</b>	<b>90.110</b>	<b>4.940</b>	<b>208.510</b>	<b>2.518.010</b>	<b>1.190</b>	<b>60.713.260</b>

Fonte: Autor, 2020.

No entanto, atualmente não existem mais ações de operação de Aterro Sanitário do município, mas sim de manutenção, que envolve todos os sistemas de drenagens e sistemas de tratamento de resíduos, como a estação de tratamento de chorume. Os resíduos sólidos urbanos atualmente são destinados para outros aterros sanitário, devidamente licenciados, sob a logística de transbordo. Comumente são destinados ao CTR Zadar e Essensis no município de Macaé/RJ ou Tecnosol no município de Quissamã/RJ, à critério da empresa contratada.

Os serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos prestados à população são de fundamental importância à vida e ao desenvolvimento humano. Quanto maiores os índices de atendimento desses serviços básicos à população, menores serão os investimentos com saúde, notadamente, os relacionados com as doenças causadas pela disposição inadequada dos resíduos.

RC: 87434

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/metodos-de-compostagem>



## 2.6 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SEGUNDO AS NORMAS BRASILEIRAS

A Norma Brasileira (ABNT NBR 10.004:2004 – Resíduos sólidos – Classificação), classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Estes, podem ser enquadrados em uma das seguintes classes:

Resíduos Classe I – Perigosos: são os resíduos que apresentam características intrínsecas de corrosividade, inflamabilidade, patogenicidade, reatividade e toxicidade, provocam riscos à saúde pública devido ao aumento das taxas de morbidade ou mortalidade ou, ainda, causam efeitos prejudiciais ao meio ambiente quando utilizados ou dispostos inadequadamente.

Resíduos Classe II A – Não Inertes: são os resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água e, ainda, causar riscos ambientais ou à saúde, os quais não se enquadram na Classe I (Perigosos) ou na classe II B (Inertes) de resíduos, nas condições desta Norma.

Resíduos classe II B – Inertes: são aqueles que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente e que, quando amostrados de forma representativa, segundo a norma ABNT NBR 10.007:2004, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme teste segundo a ABNT NBR 10.006:2004, não tem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G da NBR 10.004:2004.

Apenas os resíduos classe IIA interessam a compostagem e mesmo assim sua composição deve ser conhecida, pois alguns resíduos nessa classe apresentam composição incompatível para produzir um composto de boa qualidade. Resíduos urbanos do tipo poda de árvores e capinas, ou resíduos agroindustriais do tipo bagaço



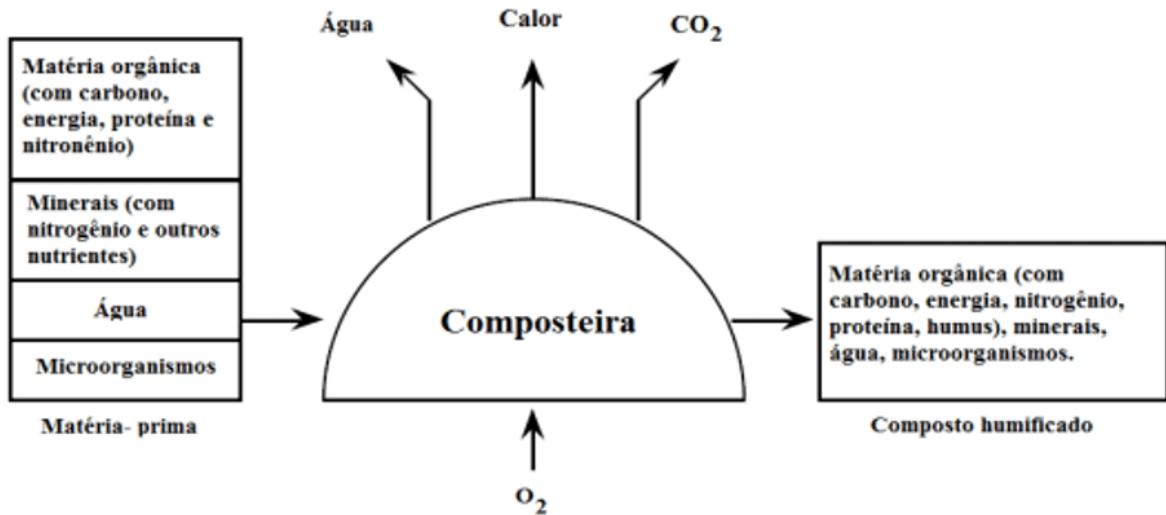
de cana-de-açúcar, restos de madeira não tratada, palhas e resíduos de silo, são a priori sem contaminação e podem ser usados na compostagem. Outros resíduos de processos industriais (lodos de sistema de tratamento de efluentes, madeira tratada etc.) dependem de análise química e monitoramento constante para que não impliquem em risco de contaminação indesejável (INÁCIO; MILLER, 2009).

Sobre a destinação ambientalmente adequada dos resíduos citados acima, de acordo com a Lei nº 12.305/2010 - PNRS, entende-se por disposição final ambientalmente adequada a “distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos”. Para compreensão de referida definição, faz-se necessário conhecer também a definição de rejeitos que, nos termos da mesma lei, são “resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (ABRELPE, 2020)”.

### 3. COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

A descrição da compostagem como parte de um grupo de processos de “decomposição aeróbia de sólidos”, citada por VanderGhenyst (1997), nos dá uma perspectiva muito prática do ponto de vista científico e da engenharia. Na figura que segue, entende-se um esquema simplificado do balanço de massa do tratamento por compostagem.

Figura 2 – O processo de compostagem (Balanço de massa)



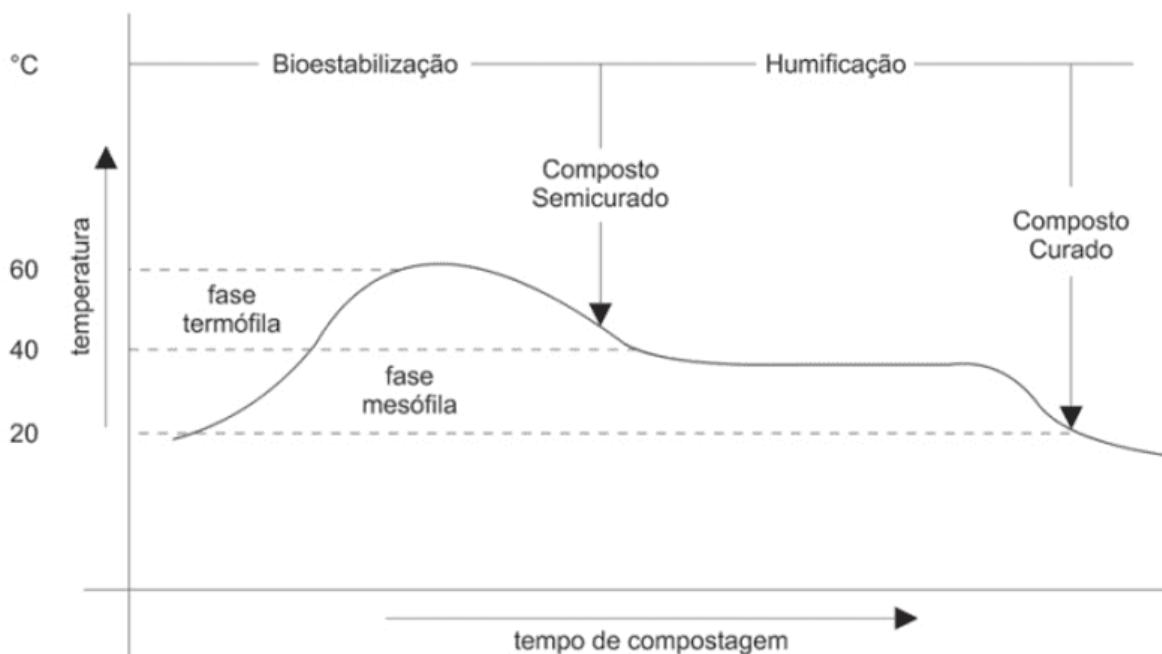
Fonte: Rynk, 1992.

O processo de compostagem não se limita apenas a adição e mistura de materiais orgânicos em pilhas, mas envolve a escolha dos materiais, seleção do sistema de compostagem, o local onde será realizado, como também, a disponibilidade desses materiais para que processo se complete (OLIVEIRA *et al.*, 2008, s.p.).

A fase inicial do processo da compostagem é caracterizada pelo crescimento da população de mesófilos. Assim, com o aumento gradativo da temperatura, em razão do processo de biodegradação, os microrganismos mesófilos diminuem e os termófilos se proliferam mais intensamente. A população termofílica é extremamente ativa, provocando intensa e rápida degradação da matéria orgânica e maior elevação da temperatura, o que elimina os microrganismos patogênicos (FERNANDES; SILVA, 1999).

Na figura que segue, percebe-se o comportamento da temperatura nas diferentes fases da compostagem, relacionada com o tempo.

Figura 3 - Fases da compostagem relacionando a temperatura do composto no tempo



Fonte: D'ALMEIDA & VILHENA, 2000.

Após a transformação da maioria do substrato orgânico, a temperatura reduz, os microrganismos termofílicos se restringem, a atividade biológica diminui significativamente e os agentes mesófilos se reinstalam. É nesta fase que a maioria das partículas biodegradáveis já foram transformadas e o odor do composto apresenta-se agradável, dando início ao processo de humificação, o qual é característico da segunda etapa do processo, nomeada de maturação (FERNANDES; SILVA, 1999).

No processo da compostagem estas duas fases são bem distintas entre si. Na fase de degradação rápida, também conhecida como a fase da bioestabilização, a atividade microbiológica é mais intensa e a transformação da matéria orgânica ocorre rapidamente. Contudo, há um grande consumo de Oxigênio ( $O_2$ ) pelos microorganismos e elevação da temperatura, além de visíveis mudanças na mistura em compostagem, visto que a mesma se apresenta mais escura e com um odor menos agressivo. Apesar desses sinais de transformação



o composto ainda não está totalmente preparado para ser utilizado. Ele só estará pronto após a seguinte fase, denominada maturação (FERNANDES; SILVA, 1999).

Na fase de maturação a atividade biológica diminui, assim como a necessidade da aeração. O processo de maturação ocorre em temperatura ambiente e se caracteriza predominantemente por transformações químicas, como a polimerização das partículas orgânicas estáveis no processo denominado humificação. Tais conceitos são importantes, posto que eles correspondem à própria concepção das usinas de compostagem. Considerando que na fase de biodegradação rápida o volume do material em compostagem diminui, observa-se que consequentemente a área necessária para a fase de maturação é menor. Assim, o grau de maturação do composto pode ser definido através de alguns testes simples que permitem a verificação da preparação do composto para o uso. Assim, ele estará apto para ser peneirado e acondicionado adequadamente para a venda e transporte (FERNANDES; SILVA, 1999).

Ainda segundo Fernandes e Silva (1999), para que o desenvolvimento do processo de compostagem ocorra satisfatoriamente, é necessário que alguns parâmetros físico-químicos (Quadro 1) sejam respeitados para que os microrganismos possam encontrar condições favoráveis para se desenvolverem e transformar a matéria orgânica. Na verdade, estes limites são flexíveis e descrevem mais os intervalos ideais para cada tipo de classe de microrganismo do que as divisões estanques.

Quadro 1 – Condições sugeridas para uma rápida compostagem

Condições	Faixa adequada*	Faixa preferível
<b>Relação Carbono: Nitrogênio (C/N)</b>	20:1 - 40:1	25:1 – 30:1
<b>Umidade</b>	40 - 65%**	50 – 60%
<b>Concentração de oxigênio</b>	Maior que 5%	Muito maior que 5%
<b>Tamanho da partícula (cm)</b>	0,3 - 1,5 (1/8 – ½ polegadas)	Vários**
<b>pH</b>	5,5 - 9,0	6,5 – 8,0



<b>Temperatura (°C)</b>	43,5 – 65,5 (110 – 150 °F)	54,5 – 60,0 (130 – 140 °F)
-------------------------	----------------------------	----------------------------

Fonte: Rynk, 1992.

\* Estas são recomendações que visam uma rápida compostagem na maioria dos casos, porém também pode-se obter bons resultados fora dessas especificações.

\*\* Depende dos materiais usados, tamanho das leiras ou pilhas, e das condições climáticas.

Segundo Aquino; Oliveira e Loureiro (2005), as transformações metabólicas dos resíduos orgânicos ocorrem em função das condições ideais de umidade e aeração, além da atividade dos microrganismos como actinomicetos, algas, bactérias, fungos e protozoários, em conjunto com atuação das larvas, dos insetos etc., que encontram sua fonte de matéria e energia na matéria orgânica *in natura*. Assim, pela digestão da matéria orgânica esses microrganismos liberam nutrientes como cálcio, fósforo, magnésio, nitrogênio e potássio, que se transformam em nutrientes minerais. Esses elementos, antes imobilizados na forma orgânica, tornam-se disponíveis para as plantas em um processo conhecido como mineralização.

De acordo com Oliveira; Sartori e Garcez (2008), para que todo ciclo esteja completo são necessários aproximadamente de 90 a 120 dias após mistura dos materiais orgânicos (dependendo da relação Carbono/Nitrogênio do resíduo), tendo como resultado um composto escuro com textura turfa (figura 4), utilizado como condicionador de propriedades físicas e biológicas do solo, assim como, um composto fertilizante que fornece os nutrientes essenciais para o suprimento das plantas.



Figura 4: Composto orgânico



Fonte: Autor, 2020.

A qualidade da engenharia do processo se baseia em alguns aspectos específicos:

- Evitar a proliferação de moscas e a atratividade de outros vetores;
- Evitar a ocorrência de odores fortes e desagradáveis;
- Evitar excessiva produção de chorume (percolado das leiras);
- Gerar um produto sem riscos de contaminação do solo e água e adequado para o manuseio;
- Adequado para o uso na agricultura e recuperação de solos (INÁCIO e MILLER, 2009, p.1).



### 3.1 MICROORGANISMOS

Segundo Heidemann (2006, p. 23), os microrganismos, as bactérias, os fungos e os actinomicetos são os principais e os únicos agentes “responsáveis pela transformação da matéria orgânica crua em húmus pelo consumo de micro e macronutrientes”, uma vez que nenhum processo, seja ele laboratorial ou industrial, conseguiu produzir húmus sintético. As bactérias são fundamentais para a fase termófila no processo de compostagem, principalmente porque são elas quem decompõem os açúcares, os amidos, as proteínas e os outros compostos orgânicos que podem ser digeridos facilmente e que estão presentes na matéria. Sua função envolve a decomposição da matéria orgânica, de origem animal e vegetal; o aumento da disponibilidade de nutrientes; a incorporação de partículas e a fixação do nitrogênio ao solo. Fungos filamentosos, heterotróficos são microrganismos que se desenvolvem sob baixos e altos índices de pH, e atuam na decomposição da matéria sob temperaturas altas de adubação e fixação de nitrogênio.

O quadro a seguir demonstra as características dos principais grupos microbianos que atuam no processo de compostagem.

Quadro 2 – Características dos principais grupos microbianos envolvidos no processo de compostagem

Discriminação	Bactéria	Actinomicetos	Fungos
<b>Substrato</b>	Carboidratos, amidos, proteínas e outros compostos orgânicos de fácil decomposição	Apropriada para substratos de difícil decomposição	Apropriada para substratos de difícil decomposição
<b>Umidade</b>	-	-	Prefere regiões secas
<b>Oxigênio</b>	Menor necessidade de oxigênio	Regiões bem aeradas	Regiões bem aeradas
<b>pH ótimo</b>	Neutro até levemente alcalino	Neutro até levemente alcalino	Ácido a alcalino



<b>Faixa de valores de pH</b>	6.0 a 7.7	-	2,0 a 9,0
<b>Revolvimento</b>	Não interfere	Desfavorável	Desfavorável
<b>Significado durante a decomposição</b>	80 a 90% da capacidade de degradação	-	-
<b>Temperatura</b>	Até 75%; redução da capacidade de degradação quando essa temperatura for ultrapassada	Supõe que o limite de temperatura seja 65°C	Limite de 60°C
<b>Função</b>	Decompor a matéria orgânica, animal ou vegetal, aumentar a disponibilidade de nutrientes, agregar partículas no solo e fixar o nitrogênio	Decomposição dos resíduos resistentes de animais e vegetais formação de humus, decomposição em alta temperatura de adubação verde, feno, composto etc., e fixação do nitrogênio.	Decomposição dos resíduos resistentes de animais e vegetais formação de humus, decomposição em alta temperatura de adubação verde, feno, composto etc., e fixação do nitrogênio.

Fonte: Nassu (2003).

## 4. MÉTODOS DE COMPOSTAGEM

Os métodos de compostagem podem ser separados em grupos conforme o tipo de aeração, grau de desenvolvimento das leiras, ou se é realizado em leiras ou de forma confinada, como por exemplo biorreatores (INÁCIO; MILLER, 2009).

### 4.1 LEIRAS ESTÁTICAS COM AERAÇÃO PASSIVA (UFSC)

A partir de 1994, passou a ser utilizado e aprimorado o método artesanal indiano de compostagem termofílica, apresentado à comunidade universitária pelo professor Paul Richard Müller, pertencente ao departamento de engenharia rural do centro de

RC: 87434

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/metodos-de-compostagem>



ciência agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Este método, difundido pelo botânico inglês Sr. Albert Howard para a reciclagem dos resíduos orgânicos, passou a ser conhecido como “método UFSC – leiras estáticas com aeração passiva”. Em função da arquitetura na montagem das leiras, que inclui grande parte de materiais estruturantes (como palha e serragem) ordenados com camadas de resíduos orgânicos, são estabelecidas condições favoráveis para a ação microbiológica, em especial de bactérias termofílicas cuja ação eleva a temperatura do material acima dos 55 °C, promovendo a higienização e eliminação de patógenos, bem como a rápida e eficiente degradação dos resíduos orgânicos (SILVA, 2017).

A rigor não há revolvimento, somente um e no final da fase termofílica para homogeneizar o processo de maturação. O não revolvimento se deve a estruturação ótima causada pelos materiais estruturantes. Recomenda-se o início de leiras em intervalos pequenos para que a temperatura alta da fase termofílica esteja presente nas várias leiras, assim elimina-se ou minimiza-se o ataque da mosca doméstica, visto que os ovos das mesmas não resistem a altas temperaturas. É importante sempre misturar as novas camadas com as que já estão em fase termofílica (PEIXE; HACK, 2014).

Após ação dos micro-organismos e resfriamento natural da leira, o material é maturado pelos microrganismos (ex.: minhocas) com produção de uma matéria orgânica estabilizada e rica em nutrientes, o composto orgânico. Esta forma de compostagem apresenta baixo custo de implantação e requer maior mão de obra para manutenção do pátio de compostagem, por ser um processo artesanal, conforme ilustrado na figura que segue.



Figura 5 – Composteira cabocla



Fonte: Autor, 2020.

O líquido biológico que resulta da compostagem deve ser drenado em tanques e reinserido na leira através de uma bomba d’água ou outro método que se tenha a disposição. Este líquido ao final do processo pode ser armazenado em bombonas plásticas e pode ser usado na agricultura com diluição a 1:10, ou seja, um litro de líquido e dez de água. A quantidade de produção dos líquidos depende muito das variações climáticas, da capacidade de infiltração do solo e do sistema de drenagem. Vale lembrar que embora, salutar à natureza, não pode de forma alguma ser despejado em mananciais, redes de esgoto, mangues etc., sendo todo o processo fechado e controlado (PEIXE; HACK, 2014).

## 4.2 COMPOSTAGEM COM REVOLVIMENTO DE LEIRAS

Atualmente no Brasil o método de leiras revolvidas ainda é usado por centros de pesquisa, empresas e companhias públicas na compostagem de resíduo, geralmente em volumes pequenos e situações específicas. Pátio operando com grandes volumes



podem ser encontrados em algumas capitais brasileiras, em geral funcionando precariamente e com restrições operacionais e ambientais (INÁCIO; MILLER, 2009).

Este método tem melhor desempenho na compostagem de grandes volumes de material vegetal, restos de poda, grama e folhas secas, do que na compostagem de materiais mais pesados, com grande conteúdo de água, por exemplo, restos de comida.

Figura 6 – Revolvimento manual



Fonte: <https://www.naturezaeconservacao.eco.br/2017/07/conheca-o-metodo-ufsc-de-compostagem-de.html>.



Figura 7 – Revolvimento automatizado



Fonte: <https://www.renomaqautomacao.com.br/produto/modelo-sv100>.

#### 4.3 LEIRAS ESTÁTICAS COM AERAÇÃO FORÇADA

A compostagem com aeração forçada utiliza equipamentos para insuflação ou aspiração de ar no interior das leiras. Esta tecnologia possibilitou revolver um típico problema da compostagem: a falta de oxigênio no interior das leiras causado pela forte atividade biológica nos primeiros dias do processo. Na maioria dos casos, a arquitetura das leiras e a estruturação do material, por exemplo, resíduos urbanos, não permitem o fluxo de ar adequado na leira. Além disso, após o início da biodecomposição, a estrutura da leira tende a entrar em colapso reduzindo a possibilidade de haver um fluxo natural de ar. A aeração forçada é uma maneira mais eficiente que o revolvimento de leiras para manutenção do processo de compostagem, via suprimento de oxigênio, principalmente na fase termofílica (EPSTEIN, 1997). Por esses aspectos, há um satisfatório controle na emissão de odores e redução na geração de chorume. A aeração forçada permite também leiras mais largas.

A insuflação ou aspiração de ar é feito por equipamentos específicos (compressores ou ventiladores) e através de tubos perfurados usualmente colocados na base das



leiras, mas podendo ocupar também partes internas da leira. A mistura de resíduos é colocada sobre a rede de tubos. As leiras permanecem estáticas durante toda a fase termofílica o que representa uma vantagem em termos de necessidade de área (INÁCIO; MILLER, 2009).

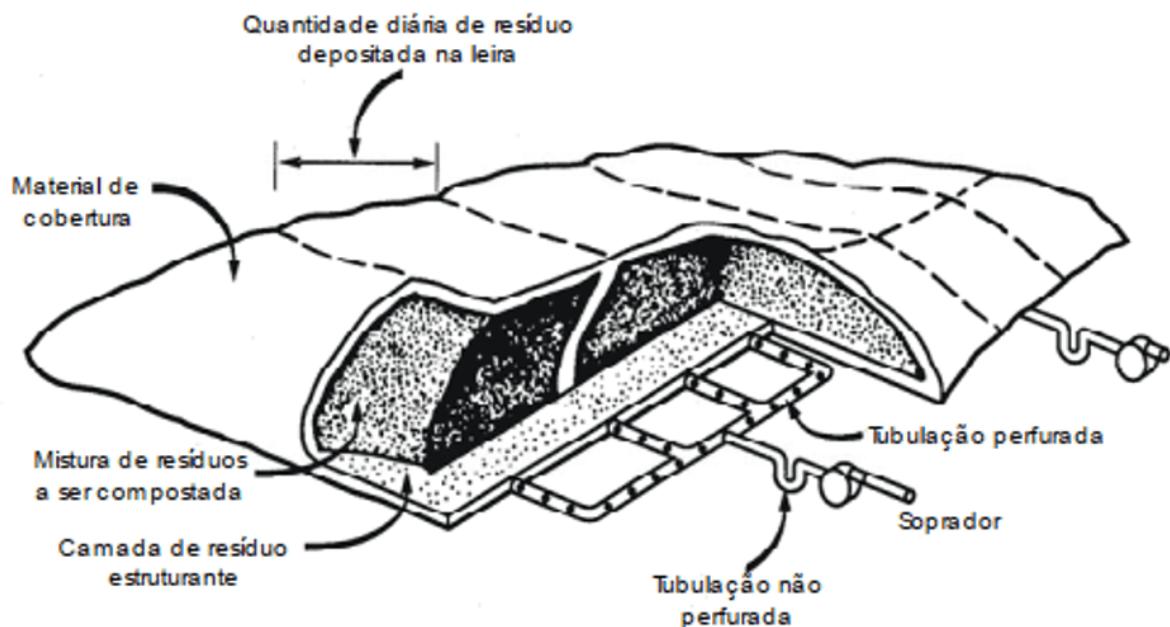
Mesmo com os equipamentos de aeração, e como não há revolvimentos, especial atenção deve ser dada a seleção e mistura dos resíduos que formam a leira. O fluxo de ar satisfatório só se dará se houver porosidade suficiente. Se isto não for observado, pode ocorrer desde uma distribuição desuniforme da aeração até a interrupção do processo de compostagem. A leira deve ter boa estrutura a qual mantém a porosidade durante todo o processo de compostagem. Esta é uma estratégia similar as leiras estáticas com aeração passiva (figura 5), e por isso materiais como serragem, que apresentam resistência a decomposição e mantém a estruturada leira durante praticamente todo o processo, são usados na compostagem de lodos de esgoto por exemplo (INÁCIO; MILLER, 2009).

Algumas estratégias (*Rutgers strategy*) usam a aeração forçada para controlar a temperatura das leiras através de sensores de temperatura que acionam os aeradores quando a temperatura supera 55 °C. O consumo de oxigênio e a evolução da temperatura (calor) são fortemente correlacionados porque ambos medem a mesma atividade (COONEY et al., 1968 apud MILLER, 1993, p. 522). Esta estratégia se diferencia da aeração para suprir oxigênio. No entanto, a estratégia de aeração por controle de temperatura necessita de aeradores maiores e maior fluxo de ar quando comparada com o controle por intervalo de tempo baseada no controle via suprimento de oxigênio (RYNK, 1992). Nove vezes mais ventilação é requerida para remover o calor do que para suprir oxigênio as leiras (FINSTEIN et al., 1986 apud MILLER, 1993, p. 522).

Na figura que segue, observa-se o esquema de uma leira de compostagem com aeração forçada ( $H = 1,5$  a  $2,5$  m /  $L = 2 \times H$  / cobertura = 15 cm / Base = 30-50 cm de espessura), que podem estar ligadas a um sistema de automação que aciona os

aeradores quando a temperatura da leira cai - efeito da restrição da atividade microbiana pela falta de oxigênio.

Figura 8 – Leiras aeradas agrupadas



Fonte: FERNANDES, SILVA, 1999.

#### 4.4 COMPOSTAGEM EM REATORES (CONFINADA)

Conhecido também como método in-vessel, a compostagem em reatores ocorre em estruturas fechadas, geralmente em grandes cilindros, dentre outros recipientes, que através de um movimento de rotação contínua proporciona a aeração da massa de compostagem. Trata-se de um processo que exige um alto investimento de implantação, mas apesar disso propicia a automatização do processo e, ainda, possibilita o controle dos fatores externos como chuva e clima. É uma alternativa bastante utilizada em países de clima temperado. Desta forma, nesse processo vale ressaltar que a movimentação contínua dos cilindros, reduz o tempo de compostagem da fase ativa. A estrutura fechada também possibilita o controle da qualidade do material obtido. Em razão do alto investimento, tal método é mais utilizado para grandes volumes de resíduos orgânicos (INÁCIO; MILLER, 2009).



As composteiras industriais seguem o mesmo princípio das leiras de compostagem, e utilizam a ação de microorganismos para a decomposição dos resíduos orgânicos. Em geral, as composteiras industriais se utilizam do controle dos parâmetros da compostagem em suas faixas ideais para acelerar o processo e obter o composto de forma rápida. Para exemplificação de possíveis capacidades de uma composteira industrial, na figura 9 exemplifica-se os modelos da empresa Trasix Soluções ambientais.

Figura 9 – Reator automatizado



Fonte: <https://www.trasix.com.br/>

#### 4.5 A ESCOLHA DE UM MÉTODO DE COMPOSTAGEM

Diversas são as variáveis que devem ser analisadas na escolha de um método ou tecnologia de compostagem. A primeira delas é o tipo de resíduo disponível para a formação da massa a ser compostada. Cada método se ajusta melhor a certas características dos materiais a serem compostados, por exemplo, quando se tem para compostagem apenas materiais vegetais como poda de parques, jardins e gramas, o método de revolvimento de leiras poderá dar conta e ser mais simples de implantar. Se houver predominância de materiais pesados (umidade maior que 70%) de rápida degradação, como restos de comida, o revolvimento terá suas limitações e restrições para o controle das condições ambientais. Nesses casos há em geral a necessidade de revolvimento frequente e um monitoramento cuidadoso. Em geral, resíduos do processamento de produtos animais e restos gordurosos existem técnicas e



condições de compostagem apuradas, isto é, os operadores devem ter larga experiência com o método a ser empregado já que esses resíduos podem causar problemas com proliferação de moscas e odores fortes. O método com revolvimento é o menos indicado nesses casos (INÁCIO; MILLER, 2009).

Testes em pequena escala com leiras estáticas com aeração passiva se mostram perfeitamente satisfatório quando as vísceras e restos de processamento foram colocados em leiras já em estado termofílico e formadas com serragem e restos de comida. Isso torna evidente que mais que saber se devemos resolver as leiras ou promover a sua aeração por equipamentos, devemos construir uma leira com os materiais certos para cada situação. Sistemas em reatores tem sido a preferência para a compostagem de resíduos de processamento animal por permitir o controle maior do processo e, principalmente, pelo potencial para evitar ocorrência de odores fortes. Para compostagem de estercos de animais de criação (agropecuária) é usual a escolha do método com revolvimento ou leiras estáticas. O método baseado na aeração forçada é um dos mais favoráveis para a maioria das situações (INÁCIO; MILLER, 2009).

No quadro a seguir, observa-se informações comparativas (vantagens e desvantagens) entre os métodos de compostagem citados neste artigo.

Quadro 3 – Informações comparativas entre métodos de compostagem

Método de compostagem	Leiras estáticas com aeração passiva (Método UFSC)	Leiras com revolvimento periódico	Leiras com aeração forçada	Compostagem em reatores (In-vessel systems)
<b>Vantagens</b>	- Baixo custo de implantação.	- Baixo custo de implantação.	- Médio investimento inicial.	- Aceleração da fase de degradação



	<ul style="list-style-type: none"><li>- Simplicidade de operação.</li><li>- Necessita áreas menores em relação ao método de leiras revolvidas.</li><li>- Não utiliza energia externa.</li><li>- Satisfatório controle de odores.</li><li>- Minimização da geração de chorume.</li><li>- Pouca exigência de máquinas e equipamentos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Simplicidade de operação e uso de máquinas comuns.</li><li>- Menor exigência de acompanhamento técnico especializado em comparação com outros métodos.</li><li>- Flexibilidade de processar grandes volumes de resíduos.</li><li>- Produção de composto homogêneo.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Maior controle do processo, temperatura e aeração.</li><li>- Permite menor tempo de compostagem que as leiras revolvidas.</li><li>- Melhor controle de odores.</li><li>- Possibilidade de uso de biofiltros.</li><li>- Menor necessidade de área quer as leiras revolvidas.</li></ul>	<p>ativa (maturação mais prolongada).</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Melhor controle do processo de compostagem, aeração e temperatura.</li><li>- Possibilidade de automação.</li><li>- Menor demanda por área.</li><li>- Possibilidade para controlar odores via biofiltros.</li><li>- Potencial para recuperação de energia térmica (dependendo do sistema).</li></ul>
--	---	--	---	---



				- Independência de agentes climáticos.
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Dependente de operadores bem treinados e com conhecimento do processo da compostagem.</li><li>- Utiliza muito material vegetal de lenta degradação (ex.: serragem) o que pode ser difícil de ser seguido em alguns locais e elevar o custo da operação.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Necessita de áreas maiores em relação ao método de leiras estáticas.</li><li>- Necessidade de máquinas para o revolvimento e maior intensidade de uso, elevando o custo de manutenção e operação.</li><li>- Elevada produção de chorume e difícil controle de odores.</li><li>- A constante movimentação de máquinas fica dificultada</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Custo de implantação com equipamentos de aeração específicos.</li><li>- Utiliza energia externa (elétrica).</li><li>- Necessita de bom dimensionamento do sistema de aeração e controle dos aeradores.</li><li>- Custo com manutenção de equipamentos, aeradores e tubos perfurados.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Elevado investimento inicial.</li><li>- Maior custo de operação e manutenção com os equipamentos (sistemas mecânicos especializados).</li><li>- Maior produção de chorume na fase de degradação ativa.</li><li>- Utiliza energia externa.</li><li>- Menor flexibilidade operacional</li></ul>



	<ul style="list-style-type: none"><li>- Montagem das leiras é mais demorada.</li><li>- Em alguns casos pode exigir o peneiramento do composto para retirada de materiais de lenta degradação como a serragem remanescent e, por exemplo.</li></ul>	<p>em períodos chuvosos.</p>	<p>para tratar volumes variáveis de resíduos.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Risco de erro difícil de ser reparado se o sistema for mal dimensionado ou a tecnologia proposta for inadequada.</li><li>- Tecnologias licenciadas.</li></ul>
--	--	------------------------------	---

Fonte: INÁCIO; MILLER, 2009.

## 5. CONTROLE DOS FATORES ECOLÓGICOS

### 5.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS QUE INFLUENCIAM DIRETAMENTE NA COMPOSTAGEM

#### 5.1.1 AERAÇÃO

Num processo de compostagem aeróbio a circulação do ar é vital para a atividade microbiana, uma vez que os microrganismos aeróbios precisam do O<sub>2</sub> para a oxidação da matéria orgânica, da qual os mesmos se alimentam. Ao longo do processo da



compostagem, a demanda pelo O<sub>2</sub> pode ser alta, podendo a falta deste elemento limitar a atividade microbiana e estender o processo de compostagem. O fornecimento de ar à massa do composto é fundamental para a agilização e concretização do processo de compostagem, e a circulação deste depende da estrutura e da umidade da massa, além da tecnologia de compostagem utilizada. O processo de aeração influência na velocidade da oxidação do material orgânico e na redução da emissão de odores. Contudo, quando o sistema não possui aeração ele passa a ser anaeróbio. A realização da aeração da mistura é fundamental no período inicial da compostagem, independente da tecnologia utilizada, visto que se trata da fase de degradação rápida, onde a atividade microbiana é mais intensa. Na próxima fase, que é a da maturação, a atividade microbiana é menos intensa e a demanda pela aeração é bem menor (FERNANDES; SILVA, 1999).

### 5.1.2 TEMPERATURA

A compostagem aeróbia pode ocorrer tanto em regiões de temperatura termofílica (45-85°C) como mesofílica (25-43°C). Ainda que o aumento da temperatura seja necessário e importante para a eliminação de microrganismos patogênicos, pesquisadores apontam que a atividade desses agentes sobre a matéria orgânica é maior quando a temperatura se eleva à 65°C, contudo, o aumento dessa temperatura limita as populações aptas, sucedendo um decréscimo da atividade microbiana. A temperatura é um fator de fácil monitoramento que indica o equilíbrio biológico, o qual se reflete na eficiência do processo. Se a mistura, em compostagem, apresentar temperatura da ordem de 40-60°C nos primeiros três dias é sinal de que o ecossistema se encontra bem equilibrado e que a compostagem será possivelmente bem-sucedida. Quando não, isto indica que alguns parâmetros físico-químicos, como pH, relação C/N, umidade, não estão sendo respeitados, de modo a limitar a atividade microbiana (FERNANDES; SILVA, 1999).

Ainda segundo Fernandes e Silva, (1999), depois de iniciada a fase termófila (em torno de 45°C), o ideal é controlar a temperatura entre 55° e 65°C. Esta é a faixa que permite



a máxima intensidade de atividade microbiológica. Acima de 65°C a atividade microbiológica cai e o ciclo de compostagem fica mais longo.

### **5.1.3 RELAÇÃO CARBONO/NITROGÊNIO**

Posto que os microrganismos precisam de carbono, enquanto fonte de energia, e de nitrogênio para síntese de proteínas, a relação C/N representa um fator importante para o equilíbrio dos substratos. Em teoria, a relação inicial ideal entre o C/N encontrara-se em torno de 30/1. Contudo, na prática se verifica que esta pode variar de 20 a 70 conforme a capacidade da biodegradabilidade do substrato. A falta desses elementos limita a atividade microbiológica. Assim, se a relação C/N for muito baixa, uma grande perda de nitrogênio poderá ocorrer por causa da volatilização da amônia. E se essa relação se apresentar muito elevada os microrganismos não terão N suficiente para a realização da síntese de proteínas, de modo a limitar o seu desenvolvimento, o que consequentemente tornará o processo de compostagem mais lento. Seja qual for a relação C/N inicial, ao fim do processo da compostagem esta relação converge-se para um valor que varia de 10 a 20, por causa das maiores perdas do carbono, no desenvolvimento do processo (FERNANDES; SILVA, 1999).

### **5.1.4 UMIDADE**

A água é essencial para a vida dos microrganismos. No composto, o índice ideal de umidade, geralmente, pode variar de 50 a 60% e a manutenção da umidade pode ser realizada por meio da mistura criteriosa dos componentes ou da adição de água. Sendo assim, na realidade, constata-se que o índice de umidade varia conforme a eficácia da aeração e as características físicas dos resíduos, no que tange a sua estrutura e porosidade. Altos índices de umidade (>65%), propiciam a ocupação da água nos espaços vazios do meio, o que impede a circulação livre do oxigênio, de modo a provocar o surgimento de zonas de anaerobiose. Quando o índice de umidade do um composto é inferior a 40% a atividade biológica e a velocidade de biodegradação são inibidas. Contudo, como há perdas de água por causa da aeração, geralmente, o índice de umidade do composto diminui ao longo do processo. Nesse



contexto, assim como outros parâmetros, o índice de umidade deve ser monitorado durante a compostagem a fim de que o processo se desenvolva adequadamente (FERNANDES; SILVA, 1999).

### 5.1.5 ESTRUTURA

A atividade microbiana acelerada depende da espessura da granulometria, uma vez que quanto mais fina for, maior será essa atividade, proporcionando aumento das reações químicas em razão do aumento da área de contato com o oxigênio. Alguns pesquisadores verificaram condições ótimas de compostagem com substratos identificando índice de porosidade de 30 a 36%. Em geral, para a obtenção de ótimos resultados, as partículas devem ter de 25 a 75 mm de tamanho (FERNANDES; SILVA, 1999).

### 5.1.6 PH

É sabido que se o pH estiver em um nível muito baixo ou muito alto a atividade microbiana poderá ser reduzida ou até inibida. Quando as misturas estão com pH próximo da neutralidade, a fase inicial da compostagem, a mesófila, é caracterizada por uma queda sensível de pH, que pode variar de 5,5 a 6,0, em razão da produção de ácidos orgânicos. Se o índice de pH da mistura estiver próximo de 5,0 ou ligeiramente inferior, a atividade microbiana reduzirá drasticamente e o composto não poderá passar para a próxima fase, a termofílica. A passagem para a fase termofílica é marcada pela rápida elevação do pH, que ocorre devido a hidrólise das proteínas e a liberação de amônia. Sendo assim, em geral o pH tende a se manter alcalino (7,5-9,0), ao longo da fase termofílica (FERNANDES; SILVA, 1999).

## 5.2 COMPOSTO ORGÂNICO

O composto orgânico é rico em húmus, nutritivo para as plantas e muito importante para revitalização de áreas verdes, pois devolve ao solo os microorganismos que favorecem a restauração de seu equilíbrio original (MONTEIRO, 2016). Em geral é um

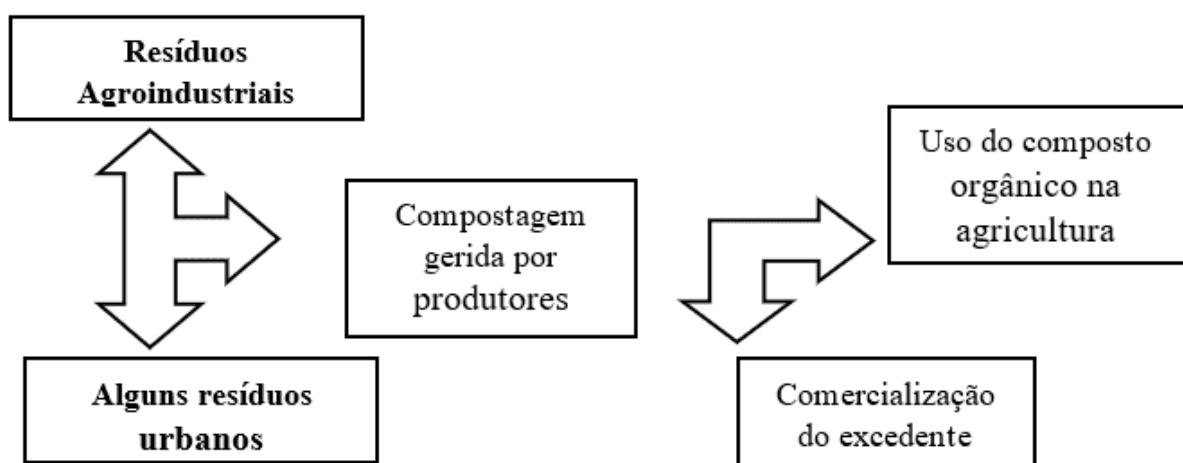


material leve, solto, escuro como café, de aroma agradável, semelhante ao cheiro de terra molhada pela chuva.

Diferentemente dos adubos sintéticos (tipo Nitrogênio, Fósforo e Potássio (NPK)), os quais são “industrializados a partir de derivados de petróleo, o uso agrícola do composto orgânico não ocasiona prejuízos ambientais, não queima as plantas e não intoxica o solo, mesmo se usado em quantidade e concentração maior do que a ideal”. Sob essa perspectiva, o substrato pode e deve ser utilizado amplamente em jardins, pomares e hortas urbanas, uma vez que o mesmo propicia a restauração dos solos e a produção abundante de frutas, verduras e legumes, além de hortaliças orgânicas, dentre outras plantações saudáveis, sem agrotóxicos (MONTEIRO, 2016, s.p.).

Além de impulsionar a produção caseira de alimentos, favorecendo a troca e a comercialização das colheitas excedentes ao consumo doméstico, a venda do composto orgânico também pode representar uma fonte alternativa para geração de renda complementar para a família.

Figura 10 – Modelo de gestão integrada dos resíduos sólidos orgânicos



Fonte: INÁCIO; MILLER, 2009.

As normas para os padrões finais dos compostos orgânicos são Instrução Normativa nº 25, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009) e

RC: 87434

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/metodos-de-compostagem>



Resolução Conama nº 375 (BRASIL, 2006). As referidas normas classificam os fertilizantes orgânicos em classes que resumidamente, podem ser descritas como:

- Classe A – fertilizante orgânico que em sua produção não sejam utilizados elementos tóxicos (como metais e orgânicos sintéticos);
- Classe B – fertilizante orgânico que em sua produção sejam utilizados elementos tóxicos (como metais e orgânicos sintéticos);
- Classe C – fertilizante orgânico que em sua produção sejam utilizadas matérias primas oriundas do lixo domiciliar;
- Classe D – fertilizante orgânico que em sua produção seja utilizada qualquer quantidade de matéria prima proveniente de despejos sanitários.

## 6. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa está baseada em métodos exploratório-descritivos com revisão sistemática da literatura na área ambiental, com foco em resíduos sólidos orgânicos (compostagem). Sampaio; Mancini (2007) e Gough; Oliver e Thomas (2012) concordam que a revisão sistemática, assim como outros tipos de estudo de revisão, consiste numa pesquisa que utiliza fonte de dados da literatura sobre um tema específico, a fim de agrupar e consolidar os resultados de estudos primários referentes ao tema. Esse tipo de investigação disponibiliza um resumo das evidências relacionadas, estratégias, métodos, síntese e crítica.

Nesse sentido, busca-se um universo de estudo com as publicações mais relevantes, representando de forma satisfatória o estado da arte, além de primar pela qualidade, abrangência e significância, a partir do modelo do estudo bibliométrico da produção científica nacional e internacional.

Para o desenvolvimento, utilizou-se como estratégia metodológica:

- Especificar a questão científica a qual deseja responder com o estudo;
- Definir base de dados confiáveis a serem consultadas e definir palavras-chaves e estratégia de buscas.



- Determinar critérios para refino dos resultados obtidos na busca, como: filtros, palavras-chaves, análise do conteúdo e autores.
- Analisar e avaliar os estudos selecionados, e através da síntese das informações, preparar um resumo e conclusão.

Para alcançar os resultados, utilizou-se de estratégia biométrica para o levantamento de referências bibliográficas, o portal de Periódicos Capes, Acessado em: <http://www.periodicos.capes.gov.br>. A busca foi feita por assunto de forma avançada, com o objetivo de obter resultados de diversas bases de dados, como, por exemplo: Scopus (elsevier) e Scielo.

Os termos de busca utilizados e as estratégias aplicadas estão relacionados no quadro a seguir, bem como as palavras-chaves utilizadas.

Quadro 4 – Estratégias Biométricas

Estratégias biométricas						
Interação	Palavra-chave	Termos de busca	Artigos encontrados	Artigos selecionados	Artigos analisados	Autores
1	Organic waste	(Waste Management) OR (Organic Recycling) AND (National Solid Waste Policy)	423.026	2.162	15	PAIVA, MATOS, AZEVEDO et al., 2012; LO MONACO et al., 2013; PAIVA et al., 2013; HORTA E CASTRO, 2016; OLIVEIRA, XAVIER, DUARTE, 2013; PEREIRA, 2011; LIMA et al., 2017; BORGES, 2012; MAZZA et al., 2014; ROCHA et al., 2012; MONTEIRO,
2	Composting methods	(Static pile) OR (Forced Aeration) OR (aerated static windrows) OR (Vermicomposting) AND (Windrow Turning) AND (Organic Fertilizer)	3.759	98	7	
3	Organic composting	(Organic Composting) OR (Organic Compound) AND (Agricultural Use)	60.486	592	6	SILVA, DIFANTE, 2013; BAPTISTA, 2013; MAROTTI, PEREIRA, PUGLIESI, 2017; NASCIMENTO,

RC: 87434

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/metodos-de-compostagem>



						2017; HECK, et al., 2013; TEXEIRA, 2004; SOUZA et al., 2010; NASREEN, QAZI, 2012; INOUE et al, 2017; ZHANG, 2002; RASAPOOR, ADL, POURAZIZI, 2016; BARBOSA, FILHO, 2017; ANDRADE, OLIVEIRA, CERRI, 2006; COTTA, et al., 2015; NORD, 2013; FERREIRA, BORBA, WIZNIEWSKY, 2013; NASSU, 2003; CRIVELARO, MOREIRA, SILVA, 2018.
Obs:	Ordenado por: relevância.  Data de publicação: 2000 a 2020.  Principais autores por termos de busca:  1 - Huang, G (442); 2 - Rynk, Robert (16), 3 - Sánchez, Antoni (86).					

Fonte: *O autor* (2020).

Os critérios de seleção dos artigos basearam-se na busca dos termos compostagem orgânica, composto orgânico e métodos de compostagem. Após selecionado os artigos de interesse, que contribuíram para a resposta da pergunta científica, eles foram analisados na íntegra, a fim de obter sólidos conteúdos e informações.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que atualmente, vários métodos de compostagem são aplicáveis, e a seleção do método depende do investimento, do custo operacional, do tempo



necessário para atingir a maturidade do composto, da disponibilidade de terra e da origem das matérias primas. Dentre todos os métodos de compostagem disponíveis, a técnica de aeração forçada se adapta em todas as possibilidades, potencializando a ação dos microorganismos para melhor decompor os resíduos orgânicos.

Verificou-se na literatura que o composto produzido nos diferentes tratamentos teve em sua maioria, as suas características dentro dos parâmetros de qualidade estabelecidos pela Instrução Normativa nº 25 e na Resolução Conama nº 375. A transformação do resíduo da agroindústria em composto de qualidade pode resultar em um avanço em nível regional no gerenciamento de seus resíduos e permitir buscar linhas de financiamento para construção de uma planta industrial de compostagem.

Por fim, recomendam-se para as propriedades rurais, não só preservar, mas também identificar a melhor maneira de conjugar o binômio utilização/preservação (equilíbrio ecológico) dos recursos naturais e o aumento da produtividade na propriedade rural, de forma a potencializar os elementos que constituem esse arranjo.

## REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 10.004:2004. **Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ABNT NBR 10.006:2004. **Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ABNT NBR 10.007:2004. **Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ABRELPE. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais**, 2012. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2011. São Paulo/SP.



ABRELPE. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais**, 2018/2019. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2017. São Paulo/SP.

ABRELPE. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais**, 2020. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2020. São Paulo/SP.

ANDRADE, C. A., OLIVEIRA, C., CERRI, C. C. **Cinética de degradação da matéria orgânica de bioassólidos após aplicação no solo e relação com a composição química inicial**. Bragantia, Campinas, v.65, n.4, p.659-668, 2006.

AQUINO, A. M., OLIVEIRA, A. M. G., LOUREIRO, D. C. **Integrando Compostagem e Vermicompostagem na Reciclagem de Resíduos Orgânicos Domésticos**. Embrapa Agrobiologia. Circular Técnica, 12. Seropédica - RJ, 2005.

BAPTISTA, V. F. **A coleta seletiva como política pública na gestão de resíduos sólidos urbanos – o caso da cidade do Rio de Janeiro**. Revista espaço acadêmico – Nº 149 – outubro de 2013. Ano XIII - ISSN 1519-6186.

BARBOSA, A. P., FILHO, J. T. C. **Compostagem e tratamento de resíduos sólidos orgânicos e estudo de caso do grupo rio quente**. Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Sociedade da Universidade Estadual de Goiás (PPGAS/UEG) – Campus Morrinhos, 2017.

BOJANIC, A. **Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO**, 2017. Disponível em <<http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/901168/>>. Acesso em 03 set. 2020.

BORGES, M. E. **Os novos paradigmas da gestão de resíduos sólidos no Brasil**. Rev Epidemiol Control Infect, jan./mar. 2012.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA 375/2006. **Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgotos gerados em**



**estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.** Brasília, 2006.

BRASIL. Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009. **Dispõe sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura.** Brasília, 2009.

Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=20542>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

BRASIL. Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece Diretrizes Nacionais Para o Saneamento Básico;** Altera as Leis Nº 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 de 1995; revoga a Lei Nº 6.528, de 11 de maio de 1978 e dá Outras Providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm)>. Acesso em: 20 nov. 2019.

BRASIL. Lei Nº 12.305, de 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 da Outras Providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 20 ago. 2020.

BRASIL. Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Dispõe Sobre as Sanções Penais e Administrativas Derivadas de Condutas e Atividades Lesivas ao Meio Ambiente e dá Outras Providências.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm)>. Acesso em: 20 ago. 2020.

BRASIL. Lei Nº 14.026, de 15 de julho de 2020. **Dispõe Sobre o Novo Marco Legal do Saneamento.** Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>>. Acesso em: 27 mar. 2021.



**CORRÊA, M. P., SILVA, J. A. F. Centro Didático Pedagógico Para o Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos: Estudo de Caso Para Avaliação de Viabilidade no Instituto Federal Fluminense – Campus Macaé, RJ-Brasil.** Holos, [s.l.], v. 6, p.415-431, 11 dez. 2015. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN).

**COTTA, J. A. O., CARVALHO, N. L. C., BRUM, T. S., REZENDE, M. O. O. Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem.** Eng. Sanit. Ambient. | v.20 n.1 | jan/mar 2015. p 65-78.

**CRIVELARO, A. L. R., MOREIRA, M. A. C., SILVA, J. A. F. Gestão de Resíduos Sólidos e Compostagem Orgânica: Estudo de Caso para Escolha de Tecnologia de Processo em Macaé, Brasil.** Campos dos Goytacazes/RJ, v.12 n.1, p. 89-110, jan./jun. 2018.

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

**EPSTEIN, E., The Science of composting.** Lancaster: Technomic Publishing, 1997. 493 p.

**FERNANDES, F.; SILVA, S.M.C.P. (1999). Manual prático para a compostagem de bioassólidos.** Rio de Janeiro, ABES-FINEP, 84p.

**FERREIRA, A. G.; BORBA, S. N. S.; WIZNIEWSKY, J. G. A prática da compostagem para a adubação orgânica pelos agricultores familiares de Santa Rosa/RS.** Revista Eletrônica do Curso de Direito - UFSM, Santa Maria, v. 8, p. 307-317, 2013.

**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.** Circular técnica Embrapa. São Carlos, nov. 2005.



FILHO, C. S.; **Resíduos Sólidos: Um monte de problemas.** Revista Eletrônica Saneamento Ambiental, São Paulo/SP, n 195, p. 10-13, 2020.

GOUGH, D.; THOMAS, J.; OLIVER, S. **Clarifying differences between review designs and methods.** Systematic Reviews, v. 1, n. 1, p. 28, 2012.

HECK, K., MARCO, E. G., HAHN, A. B. B., KLUGE, M., SPILKI, F. R., SAND, S. T. V. D. **Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final.** Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v. 17, n.1, p 54-59, 2013.

HEIDEMANN, B. R., SILVA, E. R., SOARES, M., BARBOSA. V. M. **COMPOSTAGEM ACELERADA: ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DO COMPOSTO.** Revista Brasileira de Ciências Ambientais – n. 5, 2006.

HORTA, E. F, CASTRO, M. C. A. A. **Subsídios para elaboração de plano municipal para gestão da fração orgânica de resíduos sólidos domiciliares para o município de Rio Claro-SP.** Revista Brasileira Multidisciplinar – ReBraM, Vol. 19, n.2, dez. 2016.

INÁCIO, C. T. MILLER, P. R. M. **Compostagem: Ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos.** - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 1<sup>a</sup> edição. p. 154.

INOUE, D., SAWADA, K., TSUTSUI, H., FUJIWARA, T. **Identification of microbial populations contributing to nitrification-associated nitrous oxide emission during cattle manure composting process with forced aeration,** 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico** - 2008. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. 218 p.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos - 2012.** Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009\\_relatorio\\_residuos\\_solidos\\_urbanos.pdf](http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf)> Acesso em: 20 nov. 2019.

RC: 87434

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/metodos-de-compostagem>



KIEHL, E. J. **Manual de compostagem.** Piracicaba. ESALQ-USP, 1998.

LIMA, L. C, FIA, R, RIBEIRO, A. G. C, HASHIZUME, B. M, SOARES, R. A. **Qualidade do composto gerado no tratamento de resíduos sólidos de restaurante e diferentes resíduos orgânicos.** Engenharia na Agricultura, v.25, n.5, p. 407-416, 2017.

LO MONACO, P. A. V, PAIVA, E. C. R, MATOS, A. T, FERRES, G. C, RIBEIRO I. C. A. **Avaliação da relação c/n e da qualidade do composto produzido em leiras de compostagem de carcaça e diferentes camas de criatório de frangos.** Engenharia na agricultura, viçosa - mg, V.21 N.6, NOVEMBRO / DEZEMBRO 2013.

MAROTTI, A. C. B, PEREIRA, G. S. F, PUGLIESI, E. **Questões contemporâneas na gestão pública de resíduos sólidos: análise dos princípios da Política Nacional de Resíduos sólidos a partir de seus objetivos e instrumentos.** Revista de Políticas Públicas, vol. 21, núm. 1, 2017.

MAZZA, V. M. S, MADRUGA, L. R. R. G, ÁVILA, L. V, PERLIN, A. P, MACHADO, E. C, DUARTE, T. L. **Gestão de resíduos sólidos em propriedades rurais de municípios do interior do estado do rio grande do sul.** Revista em Agronegócios e Meio Ambiente, v.7, n.3, p. 683-706, set./dez. 2014 - ISSN 1981-9951.

MILLER, F. C. Composting as a process base on the control of ecologically selective factors. In: METTING, F. B. (Ed.). **Soil microbial ecology:** application in agricultural and environmental management. New York: Marcel Dekker Inc, 1993. p. 515-541.

MONTEIRO, José André Verneck, 2016. **Benefícios da compostagem doméstica de resíduos orgânicos.** Disponível em: <<http://revistaea.org/pf.php?idartigo=2310>> Acesso em: 29 ago. 2020.

MONTEIRO, T. C., SILVA, M. B. O., DIFANTE, J. **A lei da nova política nacional dos resíduos sólidos face ao sistema de coleta seletiva do município de Santa Maria.** Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM, 2013.



NASCIMENTO, L. L. O. **Avaliação comparativa entre a política nacional de resíduos sólidos e a política municipal de resíduos da cidade de Campos dos Goytacazes.** Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Campos dos Goytacazes/RJ, v.11 n.2, p. 19-30, jul./dez. 2017.

NASREEN, Z, QAZI, J. I. **Lab Scale Composting of Fruits and Vegetable Waste at Elevated Temperature and Forced Aeration.** Pakistan Journal of Zoology (Vol. 44, Issue 5), 2012.

NASSU, K. **Compostagem: uma proposta alternativa para o aproveitamento da matéria orgânica dos resíduos sólidos urbanos**, 2003.

NÉTO, M. G. F, NETO, A. G. S. **Automatização de Processos de Compostagem Orgânica: construção de protótipo para o Instituto federal Fluminense – IFF – Campus Macaé**, 2017.

NORD, E. **Qualidade química na compostagem de resíduos urbanos com inoculação biológica.** Revista de Estudos Sociais – Ano 2013. n. 30, v. 15, pág. 149.

OLIVEIRA, E. C. A., SARTORI, R. H., GARCEZ, T. B. **COMPOSTAGEM.** Piracicaba – São Paulo, 2008.

OLIVEIRA, J. R, XAVIER, F. B, DUARTE, N. F. **Húmus de minhoca associado a composto orgânico para a produção de mudas de tomate.** Revista Agrogeoambiental – ago. 2013.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE - OMS. **A safer future: global public health security in the 21st century,** 2007. Disponível em: <<http://www.who.int/whr/2007/en/index.html>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

PAIVA, E. C. R, MATOS, A. T, BARROS, R. T. P, COSTA, T. D. R, SARMENTO, A. P. **Avaliação de leiras estáticas aeradas na compostagem de carcaças de frango.** Engenharia na agricultura, Viçosa - MG, V.21 N.5, set./out. 2013. 482-492p.



PAIVA, E. C. R., MATOS, A. T, AZEVEDO, M. A, BARROS, R. T. P, COSTA, T. D. R. **Avaliação da compostagem de carcaças de frango pelos métodos da composteira e de leiras estáticas aeradas.** Eng. Agríc., Jaboticabal, v.32, n.5, p.961-970, set./out. 2012.

PEIXE, M., HACK, M. B. **Compostagem como método adequado ao tratamento dos resíduos sólidos orgânicos urbanos: Experiência do município de Florianópolis/SC,** 2014.

PEREIRA, T. C. G. **Política nacional de resíduos sólidos: nova regulamentação para um velho problema.** Revista Direito e Justiça, 2011.

PLANSAB. **Documento em revisão submetido à apreciação dos conselhos nacionais de saúde, recursos hídricos e meio ambiente.** Ministério do Desenvolvimento Regional Secretaria Nacional de Saneamento. Brasília/DF, 2019.

PMRO - PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO DAS OSTRAS. Disponível em: <<https://www.riodasostras.rj.gov.br/>>. Acesso em 28 ago. 2020.

RASAPOOR, M., ADL, M., POURAZIZI, B. **Comparative evaluation of aeration methods for municipal solid waste composting from the perspective of resource management: A practical case study in Tehran, Iran.** Journal of Environmental Management 184, 2016. p 528 e 534.

RIO DE JANEIRO. Lei Nº 4.191, de 30 de setembro de 2003. **Dispõe Sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e da Outras Providências.** Disponível em: <<http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/CONTLEI.NSF/b24a2da5a077847c032564f4005d4bf2/cf0ea9e43f8af64e83256db300647e83?OpenDocument>>. Acesso em 29 ago. 2020.

ROCHA, A. C., CERETTA, G. F., BOTTON, J. S., BARUFFI, L., ZAMBERLAN, J. F. **Gestão de resíduos sólidos domésticos na zona rural: A realidade do município de Pranchita – PR.** Rev. Adm. UFSM, Santa Maria, v. 5, n. 4 - Edição Especial, p. 699-714, set./dez. 2012.



RYNK, R. **On-farm** composting handbook. Ithaca, NY: NRAES, 1992, 186p.

SAMPAIO, R.; MANCINI, M. **Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica.** Revista Brasileira de Fisioterapia, v. 11, n. 1, p. 83–89, fev. 2007.

SHARMA, V.K.; CANDITELLI, M.; FORTUNA, F.; CORNACCHIA, G. Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting: review. Energy Conser. Manag., v.38, p.453-478, 1997.

SILVA, B. M., RANZI, B. D., OROFINO, F. V. G., AQUINO, I. F., MAESTRI, J. C., ABREU, M. J., ROVER, O. J., MILLER, P. R. M., RODRIGUES, R. C. **Critérios técnicos para elaboração de projeto, operação e monitoramento de pátios de compostagem de pequeno porte.** Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina – FAPESC, 2017.

Síntese dos dados da PNSB 2008: **Pesquisa nacional sobre saneamento básico.** Disponível em <<http://www.ecodebate.com.br/2010/08/23/sintese-dos-dados-da-pnsb-2008-pesquisa-nacional-desaneamento-basico-de-2008/>>. Acesso em 28 ago. 2020.

SOUZA, A. L.K, RUFATTO, L, COSTA, V. B, RUFATTO, A. R, SIMÕES, F. **Compostagem com aeração forçada como alternativa de aproveitamento dos resíduos gerados pela agroindústria conserveira.** R. Bras. Agrociência, Pelotas, v.16, n.1-4, p.69-75, jan./dez. 2010.

TEIXEIRA, S. C. M. **Estratégias de gestão de resíduos sólidos urbanos.** Faculdade de engenharia da universidade de Porto, 2004.

VANDERGHENYST, J. S. et al. **Effects of process management on the emission of organosulfur compounds and gaseous antecedentes from composting processes.** Environmental Science technology, v. 32, n. 23, p.3713-3718, 1997.



MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC JOURNAL

**NÚCLEO DO  
CONHECIMENTO**

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR NÚCLEO DO

CONHECIMENTO ISSN: 2448-0959

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br>

**ZHANG, X., MO, H., ZHANG, J., LI, Z. A solid-state bioreactor coupled with forced aeration and pressure oscillation, 2002.**

Enviado: Abril, 2021.

Aprovado: Junho, 2021.

RC: 87434

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/metodos-de-compostagem>