

CAPÍTULO 4

UTILIZAÇÃO DE ADITIVOS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM



<https://doi.org/10.22533/at.ed.231142514044>

Data de aceite: 22/05/2025

Uasley Caldas de Oliveira

Universidade do Estado de Mato Grosso-UNEMAT

Janderson do Carmo Lima

Universidade Estadual de Goiás-UEG

Aline dos Anjos Souza

Casa Familiar Rural de Igrapiúna, CFRI

Robson de Jesus Santos

Universidade Estadual de Goiás-UEFS

Vitor Oliveira dos Santos

Universidade Estadual de Goiás-UEFS

Aritana Alves da Silva

Universidade Estadual de Goiás-UEFS

RESUMO: A grande procura pela reutilização de subprodutos das atividades agrícolas, urbanas e industriais, tem impulsionado a grande demanda por pesquisas com compostagem, fazendo com que seja necessário não somente entender o processo de compostagem, mas sim como esses produtos tidos como aditivos podem interferir tanto positivamente quanto negativamente dentro desse processo. Diante disso, o presente trabalho tem

por objetivo compilar informações sobre o processo de compostagem bem como os aditivos, e como eles interferem positivamente ou negativamente dentro deste processo. Muitos são os produtos utilizados no processo de compostagem como: lodo de esgoto, termosfosfato, sulfato de potássio, cal, biocarvão, restos de cozinha, lascas de madeira, tubos de polietileno, zeólito, polietileno glicol, biochar, lama vermelha, cinzas volantes, entre outros. Muitos desses produtos provem algum atributo dentro do processo de compostagem, já outros podem atuar de forma negativa a depender de sua concentração, mas vale ressaltar que muitos desses aditivos podem conter elevados níveis de nutrientes e metais pesados o que pode ocasionar sérios problemas para os vegetais e consequentemente aos animais e meio ambiente. Diante dessas informações podemos concluir que o efeito de aditivos minerais, orgânicos e biológicos que podem atuar no processo de compostagem tanto de forma positiva quanto de forma negativa ou até mesmo inerte dentro do processo de compostagem, tendo uma atenção especial para à utilização de aditivos que possam conter elevados níveis de metais pesados ou até mesmo nutrientes como é o caso do

Iodo de esgoto e da lama vermelha, já biochar pode promover diversos benefícios como a retenção de água e facilidade na aeração do composto.

PALAVRAS-CHAVE: Matéria orgânica, composto orgânico, atividade microbiana.

USE OF ADDITIVES IN THE COMPOSTING PROCESS

ABSTRACT: The high demand for the reuse of by-products from agricultural, urban, and industrial activities has driven the growing interest in research on composting. This highlights the need not only to understand the composting process but also to analyze how these products, considered additives, can positively or negatively affect this process. In this context, the present study aims to compile information on the composting process as well as the additives and how they influence this process, either positively or negatively. Various products are used in the composting process, such as sewage sludge, thermophosphate, potassium sulfate, lime, biochar, kitchen scraps, wood chips, polyethylene tubes, zeolite, polyethylene glycol, biochar, red mud, fly ash, among others. Many of these products provide specific attributes to the composting process, while others may have negative effects depending on their concentration. It is important to note that many of these additives may contain high levels of nutrients and heavy metals, which can pose serious risks to plants, animals, and the environment. Based on this information, it can be concluded that the effects of mineral, organic, and biological additives in the composting process can range from positive to negative or even inert. Special attention should be given to the use of additives that may contain high levels of heavy metals or nutrients, such as sewage sludge and red mud. On the other hand, biochar can provide various benefits, such as water retention and ease of aeration within the compost.

KEYWORDS: Organic matter, organic compound, microbial activity.

INTRODUÇÃO

Compostagem

Os Gregos, Romanos e povos orientais já sabiam que os resíduos orgânicos podiam retornar ao solo, contribuindo assim para sua fertilidade, o que evidencia sua prática desde a história antiga, entretanto somente a partir de 1.920 com o pesquisador Albert Howard foi que passou a pesquisar de forma científica, daí em diante muitos trabalhos foram desenvolvidos para poder aprimorar essa técnica, que hoje pode ser utilizada em escala industrial (FERNANDES & SILVA 1999).

A técnica da compostagem favorece o aproveitamento de resíduos orgânicos que muitas vezes são subprodutos das atividades agrícolas, quando produzido e aplicado de forma correta constitui um material de boa qualidade e proporciona melhorias das características físicas, químicas e biológicas do solo (CORRENTE et al., 2001).

É o processo de transformação de materiais grosseiros, como palhada e estrume, em materiais orgânicos utilizáveis na agricultura (Souza & Rezende, 2006). Representa

a transformação de matéria orgânica em húmus, gás carbônico, calor e água, através da ação dos microrganismos, responsável pela ciclagem de nutrientes no solo, ocorrendo todo o tempo na natureza (CÂMARA, 2001).

A metodologia consiste em observar a relação Carbono/Nitrogênio da matéria prima escolhida, realizar o processo em local adequado de acordo com a fermentação, controlar a umidade, aeração, temperatura e demais fatores conforme o objetivo de utilização do composto (FILHO et al., 2007).

Por último, deve-se ter o cuidado desde o planejamento vendo o melhor local, onde os materiais deverão ser colocados, com o teor de umidade, temperatura e revolvimento da pilha, para a garantia de um excelente composto (FILHO et al., 2007).

PROCESSO DE COMPOSTAGEM

O processo de compostagem é resultado da atividade de microrganismos que convertem o nitrogênio em NH_3 durante a decomposição do material orgânico. Essa liberação, além de diminuir o teor de nitrogênio do composto, pode contribuir para a poluição do ar (GALBALLY & ROY 1983; MOLLER & SCHIEFERDECKER 1985).

Já Merkel (1981) e Golueke (1981) consideram a compostagem um processo biológico de decomposição, sob condições controladas, ocorrendo à estabilização de substratos biodegradáveis pela conversão da matéria orgânica num produto estável semelhante ao húmus, o qual pode ser utilizado como fertilizante e corretivo dos solos.

A atuação de um conjunto de microrganismos decompõeadores aeróbicos apresenta-se como um caráter biológico, o processo de compostagem surge como uma alternativa de curar os resíduos, sendo que nas reações de maturação desses produtos ocorre à liberação de energia para o ambiente juntamente com vapor d'água, dióxido de carbono (CO_2), liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica, conhecida como húmus (BERNAL, 1998).

As fases da compostagem estão relacionadas à temperatura que é resultado da atividade biológica.

Fase Inicial ou de aquecimento = 1 a 3 dias

Fase Termófila = $> 50^\circ\text{C}$ por vários dias

Fase Mesófila = 35 a 40°C por alguns dias

Maturação = temperatura ambiente por vários dias.

O processo de compostagem passa por diferentes fases, desde quando se colocam as matérias primas até o fertilizante orgânico composto, conforme Inácio e Miller (2009) dividem-nas em fase inicial, fase termófila, fase mesófila e maturação. Para eles, na fase inicial ocorre à expansão das colônias de microrganismos mesófilos e intensificação da ação de decomposição, liberação de calor e elevação rápida da temperatura.

O processo biológico da compostagem precisa de água, onde a faixa ideal para que os resíduos devem ter entre 50 e 70% de umidade inicial. O ponto ideal é 60% de umidade (conteúdo de água), o excesso de água pode impedir a difusão de ar na leira, já a falta de água pode parar a atividade biológica.

Segundo BERNAL et. al. (1998), existem quatro fases de temperatura no processo de compostagem conforme descrito abaixo:

1º - Fase mesófila, onde a temperatura atua na faixa de 40°C, com variação de 2 a 5 dias, caracterizando uma fase com calor moderado;

2º - Fase termófila, na qual a temperatura máxima atua acima de 40°C, produzindo degradação mais rápida, podendo variar de 2 dias a vários meses devido ao tipo de material a ser decomposto;

3º - Fase de resfriamento, a qual ocorre oscilação da temperatura até atingir equilíbrio com a do ambiente, quarta e última fase a da maturação, a qual ocorre a estabilização do material decomposto, produzindo composto estabilizado, curado, pronto para ser utilizado como adubo, essa fase pode durar semanas ou meses.

POR QUE FAZER A COMPOSTAGEM?

O processo de compostagem é importante, conforme os autores Meira, Cazzonatto e Soares (2003), é a reciclagem dos nutrientes contidos no solo, devolvendo a ele os componentes de que precisa e reaproveitamento agrícola da matéria orgânica.

Muitos pesquisadores estão investindo em pesquisas com o intuito de minimizar os impactos causados pelas atividades agrícolas e poder promover uma melhor qualidade ambiental ao homem do meio rural bem como toda a sociedade, portanto para os produtores rurais a prática da compostagem proporciona uma grande quantidade de resíduos que é gerada pelas atividades agrícolas. Isso se deve ao fato que com o grande aumento tecnológico aliado a agroindustrialização, as atividades agrícolas de certa forma acabam gerando cada vez mais resíduos bem como nos processos de beneficiamento dos produtos.

Prezotto (1992) relata que a utilização dos resíduos gerados pela produção agrícola pode ser solucionada através da compostagem, entretanto ainda devem ser direcionados mais estudos para essa área uma vez que ainda não são bem claras algumas formas de tratamentos desses resíduos. Neste sentido, a compostagem se tem constituído como alternativa viável, de baixo custo e sanitariamente eficiente na eliminação de patógenos de resíduos sólidos submetidos a este método.

UMIDADE

Os microrganismos só podem assimilar nutrientes através das suas paredes celulares semipermeáveis quando estes se encontram na forma dissolvida. Assim, para que seja possível a atividade metabólica, é necessário que o meio de crescimento possua umidade, de modo que o material biológico permaneça coberto por um filme de água (BIDLINGMAIER, 1985).

O teor ótimo de umidade de um material a compostar deverá então ser o valor máximo admissível, que é variável, dependendo essencialmente do estado físico e do tamanho das partículas, situando-se na gama dos 50 a 60% (GOLUEKE, 1977).

Epstein (1997) descobriu que o consumo de oxigênio foi maior em umidade de 56% do que em 85%. O maior consumo de O₂ no menor teor de umidade é provavelmente o resultado de maior atividade microbiana.

Na prática, o teor de umidade é controlado com base na capacidade de aeração da massa de compostagem, nas características físicas do material (porosidade, estrutura etc.) e na necessidade de satisfazer a demanda microbiológica (PEREIRA NETO, 1989; VILLANI, 1993). Alto conteúdo de água interfere nas trocas gasosas pela limitação da difusão e a restrição da utilização do O₂ pelos microrganismos, além de favorecer as perdas de nitrogênio por volatilização (DAÍ PRA et al., 2009).

TEMPERATURA

A temperatura é o parâmetro mais influente (Steger et al., 2005), embora algumas outras condições também favoreçam a presença de microrganismos com capacidades metabólicas específicas (Ryckeboer et al., 2003). Com o aumento das temperaturas, o crescimento de organismos acelera (EPSTEIN, 1997).

Assim, a temperatura é um parâmetro crítico, pequenas variações podem afetar a atividade microbiológica e a biomassa muito mais dramaticamente do que pequenas variações em outros parâmetros, como o conteúdo em voláteis, a umidade, o pH, e a razão C:N (McKINLEY, 1985).

O controle da temperatura evita o efeito depressivo associado a temperaturas excessivamente elevadas, que inibem o crescimento da maioria dos microrganismos resultando consequente num abrandamento da taxa de degradação da matéria orgânica e de remoção da umidade (FINSTEIN, 1980).

Ainda existem controvérsias quanto às condições térmicas que optimizam a compostagem, o que é natural, pois diferentes materiais orgânicos revelam diferentes susceptibilidades ao ataque biológico, sendo assim mais ou menos propensos à geração de calor (FINSTEIN, 1986).

A variabilidade dos resultados da literatura relativamente à temperatura reflete na indicação de diferentes “plateaus” de temperatura pelos diversos autores. Assim, foram referidas as gamas de 55 - 63°C (Wiley, 1957), 56 - 60°C (Suler et al, 1977), 40 - 60°C (Kuter et al, 1985); por outro lado foram citadas temperaturas máximas possíveis de atingir de 50°C (Gomes et al, 1992), 60°C (Nakasaki et al, 1985.), e 70°C (SCHULZE, 1962).

Modesto Filho (1999) e Kiehl (1998) observaram três etapas bem definidas na compostagem em relação à temperatura. A primeira etapa mesofílica, a segunda etapa termofílica e a terceira etapa resfriamento, sendo as duas primeiras de estabilização da matéria orgânica e a última de humificação ou maturação da matéria orgânica.

Segundo Pereira Neto (1996), os principais fatores que influenciam o bom desenvolvimento da temperatura nas leiras de compostagem são as características da matéria prima, o tipo de sistema utilizado, o controle operacional (teor de umidade e ciclo de revolvimento), e a configuração geométrica das leiras (BÜTTENBENDER, 2004).

Geralmente as temperaturas mais elevadas conduzem a uma maior aromatização do material, diminuindo a sua área de superfície, capacidade de permuta catiônica e o teor de compostos orgânicos voláteis (LEHMANN et al. 2006).

Segundo a EMBRAPA (2010), a CTC (capacidade de troca catiônica) mensura a capacidade que o solo tem em liberar nutrientes para a solução do solo potencializando assim a fertilidade dele, onde atuando dessa forma mitiga a ocorrência de efeitos tóxicos da aplicação dos fertilizantes, pois os nutrientes serão liberados de forma gradativa.

AERAÇÃO

No processo de compostagem a aeração é de suma importância uma vez que para que ocorra a oxidação biológica e uma produção de energia que possa suprir as necessidades dos microrganismos para que eles possam atuar da melhor forma na decomposição do material utilizado na compostagem, sendo que parte dessa energia pode ser liberada na forma de calor e outra consumida através do metabolismo dos microrganismos na decomposição do material.

O revolvimento da pilha de compostagem deve ser realizado de duas a três semanas após o processo ter começado sendo esse um período crucial dentro do processo, daí em diante recomenda-se de três semanas depois do primeiro revolvimento, sendo essa etapa o início da queda da temperatura da pilha de compostagem já indicando o início da estabilização da compostagem.

RELAÇÃO C:N

Na compostagem, um dos mais importantes balanços de macronutrientes é a razão C:N, onde o carbono é a fonte de energia e o azoto é necessário na síntese do protoplasma. Como parte do carbono é perdido na forma de CO₂ e como este está presente no material celular em concentrações bem mais elevadas do que o azoto, as quantidades de carbono necessárias são sempre consideravelmente superiores às do azoto (GOLUEKE, 1977).

A razão C:N para as células microbiológicas é cerca de 10, o que teoricamente seria o valor adequado da razão C:N para o metabolismo celular, somente valores abaixos conduzem à perda do azoto através da volatilização de amônia, especialmente em situações de pH e temperaturas elevadas, arejamento forçado e/ou revirar. Assim, tem-se verificado que o valor ótimo para a razão C:N no material inicial é cerca de 25 (GOLUEKE, 1977).

Razões C:N menores que 25 retardam a decomposição e favorecem a perda de azoto. Se a razão inicial de C:N for superior a 35 os microrganismos passam por diferentes ciclos de vida, oxidando o excesso de carbono até ser atingida uma razão C:N adequada para o seu metabolismo. Contudo, o limite superior da razão depende do grau de disponibilidade do carbono, ou seja, se o carbono estiver presente numa forma altamente resistente ao ataque bacteriológico ele será de pouca utilidade e o valor adequado da razão C:N poderá ser superior (GOLUEKE, 1977).

Apesar da maioria dos resíduos orgânicos possuir uma razão C:N elevada, é sempre possível fazer uma correção do material com aditivos ou resíduos ricos em azoto, de modo a favorecer o processo de compostagem (BERTOLDI, 1983).

TAMANHO DAS PARTÍCULAS

A granulométrica das partículas do processo também é um aspecto importante, pois a intensidade da decomposição da matéria orgânica está ligada à área de exposição ou a superfície específica apresentada pelo material, de forma que quanto menor o tamanho das partículas, maior será a superfície de exposição e mais rápida será a decomposição (GOLUEKE, 1977).

pH

O pH é uma medida da acidez ou alcalinidade de um meio, e tem influência em qualquer atividade microbiana. Diferentes espécies de microrganismos se adaptam e têm atividade ótima em diferentes faixas de pH (INÁCIO e MILLER, 2009).

Enquanto as bactérias preferem um pH próximo do neutro (6 - 7,5), os fungos desenvolvem-se melhor num ambiente levemente ácido (Bertoldi, 1983). Genericamente pode-se dizer que os fungos toleram uma gama mais larga de pH do que as bactérias; de fato o nível superior de pH para muitos fungos é função da remoção dos nutrientes essenciais do meio de crescimento e não do pH só por si (GOLUEKE, 1997).

Jeris e Regan (1973) constataram que a compostagem termófílica máxima ocorreu em uma faixa de pH de 7,5 a 8,5. A eficiência de estabilização diminuiu em valores de pH inferior ou superior.

Nutrientes

Marriel et al. (1987), propõem que os resíduos a serem compostados devem apresentar um conteúdo apropriado de nitrogênio e carbono para propiciarem o crescimento e a atividade dos microrganismos envolvidos no processo.

Pailiat et al. (2005) realizaram trabalhos correlacionando à concentração de carbono orgânico e de nitrogênio dos dejetos suínos e do substrato utilizado no processo de compostagem com as emissões de amônia e de dióxido de carbono e perceberam

quatro fatores que influenciam nas variações das emissões de gases durante o processo de compostagem: o teor de carbono e nitrogênio biodegradáveis, o teor de oxigênio e o conteúdo de umidade da massa de compostagem.

FEITO DOS ADITIVOS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

O processo de compostagem pode ser realizado com a utilização de resíduo tanto animal quanto vegetal sendo essa técnica utilizada por agricultores do mundo inteiro há muitos anos sempre tendo como objetivo a otimização da fertilidade com o intuito de aumento em produção agrícola além dos benefícios que o processo de compostagem pode proporcionar ao meio ambiente através da redução dos impactos ambientais.

Dentre os diversos produtos que podem ser utilizados no processo de compostagem, alguns aditivos foram e ainda são estudados para que eles possam conferir características químicas, físicas e biológicas mais estáveis ao produto da compostagem, uma vez que a grande diversidade de material utilizado faz com que a quantidade de nutrientes, relação C/N altere de material para material. Portanto torna-se fundamental a escolha tanto do material a ser utilizado no processo de compostagem quanto o aditivo que pode potencializar o processo de compostagem (JIMENÉZ BECKER et al., 2010).

Os principais aditivos inorgânicos ou minerais são cal, argilas ou resíduos industriais, por exemplo, lama vermelha ou cinzas volantes. A lama vermelha é um subproduto da produção de alumina industrial, e cinzas volantes é um produto residual de combustão limpa de carvão usado para reduzir as emissões de gases (por exemplo, utilizado em centrais eléctricas) (WANG et al. 2008).

Entretanto alguns aditivos não alteram a temperatura do perfil, afetando assim o crescimento da biomassa microbiana como foi relatado com a bentonite (Li et al. 2012), fosfogesso e cal (GABHANE et al. 2012). Muitos autores relatam as qualidades do Biochar sobre o efeito positivo na atividade microbiana atuando na proteção e servindo de habitat, pois atua no arejamento e no controle da umidade devido sua grande porosidade (MENG et al. 2013 ; WEI et al. 2013; WAQAS et al. 2017).

Liu et al. (2017) e Xiao et al. (2017), afirmam que a aplicação do biocarvão no processo de compostagem tem efeito sobre a temperatura do composto, entretanto quando essa mistura é superior a 20% pode dificultar a biodegradação da matéria orgânica. Já o zeólito, biocarvão e polietileno glicol aumento de atividade microbiana em doses inferiores a 5%, o que pode favorecer na redução do tempo do processo de compostagem, Bertoldi et al. (1983), afirma que a taxa de oxidação biológica está diretamente relacionada com a área de superfície exposta ao ataque microbiano.

As utilizações de resíduos verdes durante o processo de compostagem tiveram um aumento na capacidade de retenção de água devido à adição de cinzas testando o fosfato de rocha (Belyaeva e Haynes 2009, Zhang e Sun 2017). Já Soares et al., (2017), relatam que quando adicionaram cascas de ovos não obtiveram nenhuma alteração sobre

a capacidade de retenção de água sugerindo até um possível efeito negativo sobre a atividade microbiana.

Jiang et al., (2016), em seu estudo adicionou na compostagem o aditivo dicianodiamida com o objetivo de inibir o processo de nitrificação, a fim de diminuir as emissões de amoníaco. Entretanto ele não foi observado quando Maulini-Duran et al., (2014) adicionaram lascas de madeira e tubos de polietileno como agentes de volume durante a compostagem de resíduos urbanos, Yang et al., (2013), conseguiram reduções significativas na emissão de N₂ durante a compostagem utilizando restos de cozinha.

Tubail e colaboradores (2008), ao estudarem o gesso oriundo da construção civil verificaram elevada diminuição nas perdas do nitrogênio disponível o que pode proporcionar muitos benefícios do produto da compostagem. Já Wedling & Gatto (2002) reforçam esses dados, pois o gesso aumenta a capacidade de retenção de água, agregação e porosidade, potencializando a disponibilidade dos nutrientes para as plantas fazendo com que o húmus (resultado da compostagem) apresente alta qualidade.

Swati e Hait (2017); Chen et al., (2010), chamam a atenção sobre a origem da matéria prima inicial incorporada no processo de compostagem, pois seu conteúdo pode conter níveis indesejáveis de metais pesados como alguns estercos de animais ou em lado de esgoto, onde podem reagir com a matéria orgânica mudando suas características, como por exemplo, compostos de adubo podem conter elevados níveis de Zn, Cd, Pb e Cu e a sua aplicação em solos pode levar a uma entrada excessiva de metais pesados.

A presença de metais pesados quando em níveis elevados ou até mesmo o teor de nutrientes elevado pode ser nocivo ao crescimento das plantas e consequentemente a saúde humana e animal (Senesil et al., 1999), sendo assim o conteúdo de nutrientes e metais pesados são parâmetros importantes na utilização de aditivos no processo de compostagem.

As misturas de aditivos orgânicos e minerais, sob a forma de cal e biocarvão também foram eficazes para reduzir a mobilidade dos metais pesados em compostos (Awasthi et al. 2016). Ao utilizar aditivos minerais durante a compostagem, a diminuição das fracções lábeis de metais pesados contidos no esterco ou de lodo de esgoto é principalmente devido a formação de complexos organometálicos entre os aditivos e metais (Wang et al. 2013), ou uma complexação de íons metálicos (Lu et al., 2014). Cal e o biocarvão conseguem limitar a mobilidade dos metais pesados também devido a um efeito de pH.

Silva et al. (2012) ao estudarem o composto orgânico oriundo de bagaço de coco enriquecidos com termofosfato e sulfato de potássio, perceberam que o desenvolvimento das plantas de melão apresentou maior acúmulo de matéria seca. Já Silva et al., (2010), encontraram diferentes respostas para diferentes compostos orgânicos e todos promoveram o crescimento de mudas de mangueiras Tommy Atkins' aos 15 meses de cultivo, semelhante ao encontrado com os tratamentos que continham esterco, entretanto os compostos que não tiveram enriquecimento não conseguiram promover incremento em

acumulo de massa seca e crescimento das mangueiras, nem mesmo para os teores de macro e micronutrientes foliares.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com essas informações podemos verificar o efeito de aditivos minerais, orgânicos e biológicos que podem atuar no processo de compostagem tanto de forma positiva quanto de forma negativa ou até mesmo inerte dentro do processo de compostagem.

Os aditivos usados no processo de compostagem são o lodo de esgoto, termosfosfato, sulfato de potássio, cal, biocarvão, restos de cozinha, lascas de madeira, tubos de polietileno, zeólito, polietileno glicol, biochar, lama vermelha, cinzas volantes, entre outros.

Deve-se ter cautela quanto à utilização de aditivos que possam conter elevados níveis de metais pesados ou até mesmo nutrientes principalmente dos aditivos oriundos de processos industriais como é o caso da lama vermelha.

O biochar apresentou-se como um dos melhores aditivos dentro dos processos de compostagem, entretanto o lodo de esgoto e a lama vermelha podem contribuir com concentrações de metais pesados no processo de compostagem.

REFERÊNCIAS

AWASTHI, M. K.; WANG, Q.; HUANG, H.; LI, R.; SHEN, F.; LAHORI, A. H.; WANG, P.; GUO, D.; GUO, Z.; JIANG, S.; ZHANG, Z. Effect of biochar amendment on greenhouse gas emission and bio-availability of heavy metals during sewage sludge co-composting. **J Clean Prod.** v.135, n.1. p.829–835. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.008>

BELYAEVA, O. N.; HAYNES, R. J. Chemical, microbial and physical properties of manufactured soils produced by co-composting municipal green waste with coal fly ash. **BioresourTechnol.** v.100, n.21, p.5203–5209. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.05.032>

BERNAL, M. P.; PAREDES, C., SANCHEZ-MONEDERO, M. A.; CEGARRA, J. Maturity and stability parameters of compost prepared a wide rage of organic waste: **Bioreources Technology**. Murcia, Spain. Editora: Elsevier, v. 63, p. 191-199. 1998.

BERTOLDI, M. D.; VALLINI, G. E.; PERA, A. The biology of composting: a review. **Waste Manag Res.** v.1, n.2, p.157–176. 1983. [https://doi.org/10.1016/0734-242X\(83\)90055-1](https://doi.org/10.1016/0734-242X(83)90055-1)

BIDLINGMAIER, W. "The Treatment of Sewage Sludge under Aerobic-Thermophilic Conditions", **Comm. Eur. Communities**, (Rep.) EUR 9646, pp. 206-22. 1985.

BÜTTENBENDER, S. E. **Avaliação da compostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos provenientes da coleta seletiva realizada no município de Angelita/SC**. Florianópolis, 2004. Dissertação (Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina.

CÂMARA, M. J. T. **Diferentes compostos orgânicos e plantimax como substrato na produção de mudas de Alfalfa**. 2001. 42p. Monografia (Graduação em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura de Mossoró, Mossoró, 2001.

CHEN, Y. X.; HUANG, X. D.; HAN, Z. Y.; HUANG, X.; HU, B.; SHI, D. Z.; WU, W. X. Effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar on nitrogen conservation and heavy metals immobility during pig manure composting. **Chemosphere**. v.78, n.9, p.1177–1181. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.12.029>

CORRENTE, J. E.; NOGUEIRA, M C. S.; COSTA, B. M. Contrastes ortogonais na análise do controle de volatilização de amônia em compostagem. **Scientia Agricola**, v.58, n.2, p.407- 412, abr./jun. 2001.

DAI PRÁ, M. **Desenvolvimento de um sistema de compostagem para tratamento de dejetos de suínos**. 2006. 155f. Dissertação (Mestrado em Ciência, Área de concentração Zootecnia). Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2006.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. 1. ed. Rio de Janeiro: Embrapa - CNPS, 2010.27p.

EPSTEIN, E. **The Science of Composting**. Pennsylvania: Technomic Publishing, 1997. p. 493.

FERNANDES, S. A. P.; SILVA, S. M. C. P. **Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos**. Londrina: Prosab, Finep, 1999. 84p.

FILHO, E. T. D.; MESQUITA, L. X.; OLIVEIRA, A. M.; NUNES, C. G. F.; LIRA, J. F. B. A prática da compostagem no manejo sustentável de solos. **Revista Verde** (Mossoró – RN – Brasil). v.2, n2, p 27-36 Jul-Dez, 2007.

FINSTEIN, M.; CIRELLO, J.; SULER, D. “Microbial ecosystems responsible for anaerobic digestion and composting”, J. **Water Pol. Cont.** Fed. v.52, n.11, p. 2675-2685. 1980.

FINSTEIN, M.; MILLER, F.; STROM, P. “**Waste Treatment Composting as a Controlled System**”, in Biotechnology, (W. Schonborn, Ed.), VCH, 1986. p. 8.363-8398.

GABHANE, J.; WILLIAM, S. P.; BIDYADHAR, R.; BHILAWE, P.; ANAND, D.; VAIDYA, A. N.; WATE, S. R. Additives aided composting of green waste: effects on organic matter degradation, compost maturity, and quality of the finished compost. **Bioresour Technol**. v. 114, p.382–388. 2012.

GALBALLY, I. E.; ROY, C. R. The fate of nitrogen compounds in the atmosphere. In: FRENEY, J. R.; SIMPSON, J. R. (Ed.) **Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems**. Hague: Martinus Nijhoff, 1983. p. 265-284.

GOLUEKE, C. G. Principles of biological resource recovery. **Bio Cycle**, v.22, n.4, p.36 – 40. 1981.

GOLUEKE, C. G. “**Biological Processing: Composting and Hydrolysis**”, in Handbook of Solid Waste Management, (D. Wilson Ed.), VNR, 1977. p. 197-225.

GOLUEKE, C.C. **Biological Reclamation of Solid Wastes**. Rodale, Emmaus. 1997.

GOMES, A. P.; F. J, M. PEREIRA E A. M. LUÍS. —Compostagem de lamas celulósicas. Efeito da temperaturl, **Actas da III CNQA** (Aveiro), p.747-757. 1992.

INÁCIO, C. T.; MILLER, P. R. M. **Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

JERIS, J.S; REGAN, R.W. Controlling environmental parameters for optimum composting. Part II. *Compost Sci.*, n.14, p.8–1, 1973.

JIANG, T.; MA, X.; TANG, Q.; LI, G.; SCHUCHARDT, F. Combined use ofitrification inhibitor and struvite crystallization to reduce the NH₃ and N₂O emissions during composting. *Bioresour Technol.* v.217, p.210–218. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.01.089>

JIMÉNEZ BECKER, S.; EBRAHIMZADEH, A.; PLAZA HERRADA, B. M.; & LAO, M. T. Characterization of compost based on crop residues: changes in some chemical and physical properties of the soil after applying the compost as organic amendment. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41:696-708, 2010.

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

KUTER, G. A.; H. A. HOITINK AND L. A. ROSSMAN. —Effects of aeration and temperature on composting of municipal sludge in a full-scale vessel systemII, *J. Wat. Poll. Contr. Fed.*, v.57, n.4, p. 309-315. 1985.

LI, R.; WANG, J.J.; ZHANG, Z.; SHEN, F.; ZHANG, G.; QIN, R.; LI, X.; XIAO, R. Nutrient transformations during composting of pig manure with bentonite. *Bioresour Technol.* v.121, p.362–368. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.06.065>

LIU, N.; ZHOU, J.; HAN, L.; MA, S.; SUN, X.; HUANG, G. Role and multiscale characterization of bamboo biochar during poultry manure aerobic composting. *Bioresour Technol.* v.241, p.190–199. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.144>

LEHMANN, J. A handful of carbon. *Nature*. v.447, p.143–144. 2007. <https://doi.org/10.1038/447143a>

MARRIEL, I. E. et al. Tratamentos e utilização de resíduos orgânicos. *Informe agropecuário*, nº 147, 1987.

MAULINI-DURAN, C.; ARTOLA, A.; FONT, X.; SÁNCHEZ, A. Gaseous emissions in municipal wastes composting: effect of the bulking agent. *Bioresour Technol.* v.172, p.260– 268. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.09.041>

MENG, J.; WANG, L.; LIU, X.; WU, J.; BROOKES, P. C.; XU, J. Physicochemical properties of biochar produced from aerobically composted swine manure and its potential use as an environmental amendment. *Bioresour Technol* v.142, p.641–646. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.05.086>

MERKEL. Composting In: Managing livestock wastes. Ed. por AVI.: 306-322, 1981.

MCKINLEY, V.; VESTAL, J.; ERALP. A. “Microbial Activity in Composting”, PART II, *Biocycle*, v.26, n.10 p.47-50. 1985.

MODESTO FILHO, P. **Reciclagem da matéria orgânica através da vermicompostagem**. In: Metodologias e técnicas de minimização, reciclagem e reutilização de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, RJ: ABES.65 p. 1999.

MOLLER, D.; SHIEFERDECKER, H. A relationship between agricultural NH₃ emissions and the atmospheric SO₂ content over industrial areas. *Atmospheric Environment*, v.19, p.695-700, 1985.

NAKASAKI, K. et al. "Effect of Temperature on Composting of Sewage Sludge", **Applied and Environmental Microbiology**, v.50, n.6, p.1526-1530. 1985.

PAILLAT, J. M.; ROBIN, P; HASSOUNA, M; LETERME, P. **Effet du compostagem d'effluents porcins sur les émissions gazeuses et les teneurs en éléments polluants**. Rennes: INRA, Centre de Recherches de Rennes, 2005.

PEREIRA NETO, J. T. Conceitos modernos de compostagem. **Engenharia sanitária**, Rio de Janeiro, v.28, n.3 1989.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996. 56p.

PREZOTTO, M. E. M. Química ambiental e agronomia. Simpósio – O solo como meio de descarte e degradação de resíduos. In: Reunião Brasileira de Fertilidade e Nutrição de Plantas, 20, 1992, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. 21p.

RYCKEBOER, J. ; MERGAERT, J. ; VAES, K.; KLAMMER, S. ; DE CLERCQ, D.; COOSEMANS, J.; INSAM, H.; SWINGS, J. A survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes. **Ann. Microbiol.**, n.53, p.349–410, 2003.

SCHULZE, K. "Continuous Thermophilic Composting", **Applied Microbiology**, v.10, n.2 p. 108-122. 1962.

SENESIL, G. S.; BALDASSARRE, G.; SENESI, N.; RADINA, B. Trace element inputs into soils by anthropogenic activities and implications for human health. **Chemosphere**. v.39, p.343– 377. 1999. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00115-0](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00115-0)

SILVA, A. F.; MOUCO, M. A. C.; SANTANA, L. M.; FRANÇA, C. R. R. S. Cultivo de mangueira Tommy Atkins com diferentes compostos orgânicos. Petrolina: Embrapa Semiárido, (**Embrapa Semiárido. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 81). 22 p. 2010.

SILVA, A. F.; SANTANA, L. M.; FRANÇA, C. R. R. S.; FERNANDES, S. C.; PINTO, J. M.; GAVA, C. A. T. Crescimento de meloeiro adubado com compostos orgânicos. Petrolina: Embrapa Semiárido, (**EMBRAPA-CPATSA. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 99). 18 p. 2012.

SOARES, M. A.; QUINA, M. J.; REIS, M. S.; QUINTA-FERREIRA, R. Assessment of co- composting process with high load of an inorganic industrial waste. **Waste Manag.** v.59, p.80–89. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.044>

STEGER, K.; EKLIND, Y.; OLSSON, J.; SUNDH, I. Microbial community growth and utilization of carbon constituents during thermophilic composting at different oxygen levels. **Microb Ecol**, n. 50, p.163–171, 2005.

SULER, D.; FINSTEIN, M. Effect of temperature. Aeration, and moisture no CO₂ formation in bench-scale, continuously thermophilic composting of solid wastel, **Applied and Environmental Microbiology**, v.33 n.2 p.345-350. 1977

SWATI, A.; HAIT, S. Fate and bioavailability of heavy metals during vermicomposting of various organic wastes—a review. Proc Safe Environ Protect. v.109, p30–45. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.03.031>

TUBAIL, K.; CHEN, L.; MICHEL, J. R. F. C.; KEENER, H. M.; RIGOT, J. F.; KLINGMAN, M.; KOST. D.; DICK, W. A. Gypsum additions reduce ammonia nitrogen losses during composting of dairy manure and biosolids. **Compost Science & Utilization**, v.16, n.4, p.285- 293, 2008.

VILLANI, F. T. **Estudo de avaliação de métodos químicos para determinar o grau de maturação dos compostos orgânicos do lixo urbano domiciliar**. 1993. Tese de mestrado, Viçosa, M. G. 1993.

WANG, S.; ANG, H. M.; TADE, M. O. Novel applications of red mud as coagulant, adsorbent and catalyst for environmentally benign processes. **Chemosphere**. v.72, p.1621– 1635. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.05.013>

WANG, L.; ZHENG, Z.; ZHANG, Y.; CHAO, J.; GAO, Y.; LUO, X.; ZHANG, J. Biostabilization enhancement of heavy metals during the vermicomposting of sewage sludge with passivant. **JHazardMater**. v. 244, p.1– 9. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.11.036>

WAQAS, M., NIZAMI, A. S.; ABURIAZAIZA, A. S.; BARAKAT, M. A.; ISMAIL, I. M. I.; RASHID, M. I. Optimization of food waste compost with the use of biochar. **J Environ Manag** (in press). v. 216, p. 70-81. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.015>

WEI, L.; SHUTAO, W.; JIN, Z.; TONG, X. Biochar influences the microbial community structure during tomato stalk composting with chicken manure. **Bioresour Technol**. v. 154 p.148– 154. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.022>

WILEY, J. S. Progress report on high-rate composting studiesII, **Proc. Ind. Waste Conf.** Purdue Univ. Ext. Ser., v. 89, p.596. 1957.

XIAO, R.; AWASTHIMK, L. I. R.; PARK, J.; PENSKYSM, WANG, Q.; WANG, J. J.; ZHANG, Z. Recent developments in biochar utilization as an additive in organic solid waste composting:areview. **BioresourTechnol**. v.246, p. 203- 213. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.090>

YANG, F., LI, G. X.; YANG, Q. Y.; LUO, W. H. Effect of bulking agents on maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting. **Chemosphere** v. 93 p. 1393–1399. 2013

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.07.002>

ZHANG, L.; SUN, X. Addition of fish pond sediment and rock phosphate enhances the composting of green waste. **Bioresour Technol**. v. 233, p.116–126. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.02.073>