

CAPÍTULO 9

Compostagem: processo de transformação de recursos endógenos em fertilizantes

Acácio Radael de Assis, Regiane Carla Bolzan Carvalho, Aparecida de Fátima Madella de Oliveira, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-23-7.c9>

Resumo

O crescimento populacional, a rápida urbanização e o desenvolvimento econômico têm gerado enormes quantidades de resíduos sólidos e líquidos, provenientes tanto da atividade agropecuária quanto da agroindústria. Esse aumento na produção de resíduos representa um desafio significativo nos âmbitos social, econômico e ambiental, pois ultrapassa a capacidade de degradação ambiental. A compostagem, uma técnica antiga e eficiente utilizada há milênios, é empregada para produzir compostos ricos em nutrientes e melhoradores de solo. No entanto, durante o processo, ocorre uma considerável perda de nitrogênio presente nos resíduos orgânicos devido à atividade microbiana. Dada a necessidade de reduzir a dependência de adubação química, especialmente considerando os altos custos dos fertilizantes, e de promover a produção de alimentos de forma mais sustentável, com práticas conservacionistas do solo, torna-se imperativo aprimorar a técnica de compostagem para obter compostos mais ricos em nutrientes. Uma abordagem promissora envolve a adição de gesso agrícola, que pode compensar as perdas de nitrogênio, resultando em compostos finais mais nutritivos para as plantas.

Palavras-Chave: Gesso Agrícola. Resíduos agrícolas. Nitrogênio. Amônia.

1. Introdução

O crescimento populacional desordenado, a rápida urbanização e o avanço econômico e tecnológico têm ocasionado mudanças substanciais no estilo de vida, influenciando os padrões de produção e consumo. O aumento na produção tem gerado uma quantidade significativa de resíduos sólidos e líquidos como subprodutos, tanto da atividade agropecuária quanto da agroindústria, o que representa um desafio de natureza social, econômica e ambiental. De acordo com Fiori *et al.* (2008) e Francischetto *et al.* (2023), esse aumento na geração de resíduos está acarretando impactos e externalidades ambientais negativos, uma vez que a taxa de sua produção supera em muito a taxa de sua degradação.

A compostagem é uma técnica milenar, com registros de uso por povos tanto do oriente quanto do ocidente. Uma hipótese sobre sua origem é que o homem, ao observar na natureza a decomposição de materiais orgânicos em áreas preservadas, começou a retirar esse material, transportando-o para as áreas de cultivo, obtendo assim melhorias na produtividade (Figura 1).



Figura 1. Processo inicial de compostagem com a utilização de resíduos diversos. Fonte: Dário Rodrigues, 2023.

A compostagem envolve uma série de processos bioquímicos promovidos por uma diversidade de microrganismos presentes no solo. Esses organismos desempenham um papel decisivo na ciclagem de nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, além de contribuírem para o

sequestro e fixação de carbono no solo (Alotaibi; Kumar, 2018; Bharti; Rajor; Hooda; 2018; Sánchez; Opatokun; Komilis, 2019; Wang *et al.*, 2018).

É um processo complexo que envolve interações entre diferentes microrganismos, como bactérias, fungos e actinomicetos, bem como organismos macroscópicos, como minhocas (Figura 2). Cada um desses microrganismos desempenha papéis específicos na decomposição dos resíduos orgânicos e na transformação desses materiais em compostos estáveis e ricos em nutrientes (Alotaibi; Kumar, 2018; Awasthi *et al.*, 2019; Bharti; Rajor; Hooda; 2018; Kaushik; Garg, 2019; Li *et al.*, 2018; Sánchez; Opatokun; Komilis, 2019; Wang *et al.*, 2018).



Figura 2. Minhocas e vermicompostagem⁷. Fonte: Dário Rodrigues, 2023.

De acordo com esses mesmos autores, as bactérias são responsáveis por iniciar o processo de decomposição, degradando os compostos orgânicos complexos em formas mais simples, como ácidos orgânicos e açúcares. Em seguida, os fungos entram em ação, quebrando moléculas complexas como celulose e lignina em componentes mais simples que podem ser facilmente absorvidos pelas plantas. Os actinomicetos desempenham um papel semelhante

⁷ Processo de compostagem que envolve a utilização de minhocas para decompor resíduos orgânicos, como restos de alimentos, aparas de grama, folhas, entre outros materiais vegetais.

aos fungos, mas também podem ajudar na decomposição de compostos mais resistentes.

Além disso, as minhocas desempenham um papel decisivo na compostagem, pois ajudam a aerar o material, promovendo a circulação de ar e facilitando a decomposição dos resíduos. Elas também consomem material orgânico parcialmente decomposto, digerindo-o e produzindo vermicomposto, um fertilizante rico em nutrientes (*ibidem*).

Esses microrganismos e organismos trabalham em conjunto para transformar os resíduos orgânicos em um material estável, rico em nutrientes e seguro para o uso como fertilizante no solo. Além disso, durante o processo de compostagem, ocorre a liberação de dióxido de carbono (CO₂) e a fixação de carbono no solo na forma de matéria orgânica estável, ajudando a mitigar os efeitos das mudanças climáticas (Alotaibi; Kumar, 2018; Awasthi *et al.*, 2019; Bharti; Rajor; Kaushik; Garg, 2019; Li *et al.*, 2018; Sánchez; Opatokun; Komilis, 2019; Wang *et al.*, 2018).

Portanto, a compostagem não apenas fornece um método eficaz de gerenciamento de resíduos, mas também desempenha um papel importante na promoção da saúde do solo, na conservação de recursos naturais e na redução das emissões de gases de efeito estufa. Considerando que as atividades agrícolas e pecuárias geram diversos resíduos, os quais, quando gerenciados adequadamente, podem se tornar recursos valiosos. No entanto, quando descartados ou depositados de forma inadequada, sem tratamento prévio, podem causar contaminações ambientais, poluindo corpos hídricos, o solo e, em alguns casos, prejudicando a saúde humana (Figura 3).

A compostagem é uma técnica simples e eficiente para o tratamento desses resíduos, que na maioria das vezes são desperdiçados pelo produtor ou tem uma destinação final não sustentável. Como, por exemplo, a palha de café, que normalmente é incinerada em fornalhas de maquinário de secagem mecânica. Da mesma forma, o esterco oriundo de criação de animais, em muitas propriedades, é depositado no ambiente e carregado por águas pluviais, gerando contaminação (Figura 4).



Figura 3. Resíduo de bovinos descartado a céu aberto. Cerra do Caramba, Atílio Vivácqua – ES. Fonte: Acervo Acácio Radael de Assis.

Esses resíduos são uma excelente fonte de nutrientes e matéria orgânica, e possuem um grande potencial para geração de adubos orgânicos a partir de processos de compostagem.



Figura 4. Queimador de palha mecânico, para secagem de café. Guaçuí – ES. Fonte: Acervo Acácio Radael de Assis.

Esses resíduos apresentam uma ótima relação carbono/nitrogênio (C/N), entorno de 30:1, o que é muito desejável para o processo de compostagem, além de concentração de outros nutrientes. Entender e gerenciar a relação C/N é essencial em práticas de compostagem, pois isso pode influenciar na qualidade do composto e no tempo de maturação (Alotaibi; Kumar, 2018; Awasthi *et al.*, 2019; Bharti; Wang *et al.*, 2018).

Durante o processo de compostagem é comum a perda de grande parte do nitrogênio (N) existente nos materiais orgânicos por volatilização na forma de amônia (NH_3). É um processo inevitável devido à atividade microbiana, que utiliza o N dos resíduos para realizar a mineralização da matéria orgânica. Materiais com alta relação C/N não são facilmente decompostos pelos microrganismos, devido à deficiência de N, que limita a atividade microbiana (Bharti; Rajor; Kaushik; Garg, 2019; Li *et al.*, 2018; Sánchez; Opatokun; Komilis, 2019; Wang *et al.*, 2018).

De acordo com esses mesmos autores, a adubação química é importante para manter produções consonantes com a demanda existente. Porém, ela traz algumas desvantagens como aumento do custo de produção, uma vez que as matérias-primas são em sua maioria importadas, e também contaminações de corpos hídricos devido ao processo de lixiviação. Alguns estudos sugerem que o uso de gesso agrícola na compostagem pode compensar as perdas de N, tendo em vista que ele pode reagir quimicamente com a amônia (NH_3), formando Sulfato de Amônio e Cálcio tetra-hidratado, uma forma não volátil.

Considerando os inúmeros benefícios que a adubação orgânica proporciona, tanto do ponto de vista econômico quanto sustentável, faz-se necessário o aprimoramento da técnica, a fim de obter compostos mais ricos em nutrientes, possibilitando ainda mais a redução de custos de produção, ao mesmo tempo trazendo inúmeros benefícios ao solo e ambiente.

O objetivo deste estudo é investigar se a adição de gesso agrícola, tanto individualmente quanto em combinação com calcário, pode resultar na produção de um composto final enriquecido em N e Ca. O estudo visa ressaltar o potencial das áreas rurais para conservar e melhorar a fertilidade natural do solo, juntamente com suas propriedades físicas, por intermédio da utilização de

resíduos orgânicos. Além disso, busca-se diminuir a dependência de insumos e capital exógenos nas propriedades agrícolas.

2. Compostagem

A compostagem é um processo aeróbio, onde os microrganismos decompõem o material biológico, transformando-o em matéria orgânica estabilizada (Brietzke, 2017). Esse material pode ser de origem animal ou vegetal.

Na agricultura a compostagem pode ter grande importância econômica. Segundo Wartchow *et al.* (2011) e Opatokun e Komilis (2019), a compostagem é um processo capaz de produzir compostos orgânicos que podem ser utilizados como fertilizantes, que possui viabilidade econômica, além de ser um método sustentável.

A compostagem envolve vários processos bioquímicos promovidos por diversos microrganismos do solo, como fungos e bactérias (Inácio; Miller, 2009; Opatokun; Komilis, 2019). Para obter o C e demais minerais essenciais para seu desenvolvimento e sobrevivência, esses organismos degradam a matéria orgânica. Durante esse processo são liberados substâncias e compostos que fornecem nutrientes essenciais para as plantas, além de promoverem a melhoria das condições físicas e químicas do solo (Febrisiantosa *et al.*, 2018).

O composto orgânico resultante da compostagem, ao ser aplicado no solo, fornece sais minerais importantes para a nutrição das plantas; o húmus, atua como condicionador do solo, melhorando as características físicas, químicas e biológicas (Andrade *et al.*, 2017).

Transformar resíduos em adubo orgânico por meio da compostagem é uma alternativa extremamente benéfica, pois reintroduz esses materiais na cadeia produtiva como fertilizantes naturais para o solo. A decomposição dos resíduos orgânicos é um processo intrinsecamente natural, permitindo que a reciclagem seja realizada em diferentes escalas, utilizando métodos que variam desde os mais simples e econômicos até os mais sofisticados e tecnologicamente avançados. Adotar a prática da compostagem para os resíduos orgânicos é uma

maneira significativa e eficaz de contribuir para a preservação da saúde ambiental em sua região.

O sucesso desse processo depende da seleção adequada dos materiais, do controle da umidade para garantir condições ideais para a decomposição e do manejo correto da composteira para promover a eficiência do processo. Esses cuidados são essenciais para garantir a qualidade do composto produzido e maximizar os benefícios da compostagem, tanto em termos agrícolas quanto ambientais. Garantir a qualidade do composto não apenas aumenta sua eficácia como fertilizante, mas também reduz o potencial de emissão de gases de efeito estufa durante o processo de decomposição, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas (Figura 5).



Figura 5. Material diversificado para a compostagem. Fonte: Getty Images/ Reprodução, 2022.

3. Esterco bovino e de frango como matéria-prima na compostagem

Os resíduos orgânicos provenientes de atividades agropecuárias, como o esterco bovino e de frango, podem resultar em diversos problemas ambientais se não forem adequadamente manejados (Tavares; Tavares, 2021). Esses resíduos, quando mal tratados ou gerenciados, têm o potencial de contaminar corpos hídricos, causando eutrofização, um fenômeno que envolve o crescimento excessivo de algas. Isso, por sua vez, pode reduzir os níveis de

oxigênio disponível para outras formas de vida aquática, prejudicando a biodiversidade do ambiente.

A decomposição inadequada dos resíduos também pode gerar gases de efeito estufa, especialmente quando realizada de forma anaeróbica. Além disso, podem surgir problemas como odores desagradáveis e a formação de patógenos, representando riscos à saúde pública e animal.

Tanto o esterco bovino quanto o de frango são frequentemente utilizados na compostagem devido às suas composições equilibradas de nitrogênio e carbono (Assis; Vieira, 2020). Isso proporciona um ambiente favorável para a atividade microbiana, acelerando o processo de decomposição e resultando em um composto final de alta qualidade.

O esterco bovino é especialmente rico em nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas, como N, P e K, os quais são incorporados ao composto final (Junqueira, 2011). Além disso, contém uma grande quantidade de microrganismos que desempenham um papel decisivo na decomposição dos resíduos orgânicos.

Assim como o esterco bovino, o esterco de frango também é rico em macro e micronutrientes, destacando-se especialmente pelo seu teor de N, que é superior ao do esterco bovino (Assis; Vieira, 2020). Essa diferença se deve ao processo metabólico de excreção das aves, que resulta em uma excreta rica em ácido úrico, que é eliminada juntamente com as fezes. A presença de microrganismos decompositores em ambos os tipos de esterco também contribui para acelerar o processo de decomposição.

A utilização desses resíduos na compostagem não apenas os transforma em recursos valiosos, mas também promove a sustentabilidade e a saúde do solo. Ao empregar esses resíduos em processos de compostagem, os produtores podem colher benefícios econômicos, além de ambientais.

Com a melhoria da qualidade do solo por meio da adição de um composto rico em nutrientes, como o vermicomposto derivado desses estercos, há uma redução significativa na necessidade de adubos químicos (Cantú *et al.*, 2022). Isso não apenas economiza recursos financeiros para o produtor, mas também

contribui para a redução do impacto e da externalidade ambiental associado ao uso excessivo de fertilizantes sintéticos.

4. Palha de café

A palha de café é um subproduto valioso do cultivo do café, possuindo a capacidade de devolver ao solo uma grande quantidade dos nutrientes absorvidos durante o crescimento dos frutos. Durante a fase inicial do estabelecimento da plantação de café, o uso da palha se torna uma fonte essencial de nutrientes e matéria orgânica para o solo.

Apesar das variações no teor nutricional da palha de café, devido ao processo de preparo pós-colheita do café, ela é altamente valorizada como matéria-prima para a produção de compostos (Carvalho *et al.*, 2005).

A palha de café é gerada em quantidades consideráveis, com aproximadamente 50 a 60 kg de palha obtidos para cada saca de café produzida (Matiello *et al.*, 2010). Para os cafeicultores, ela representa a fonte mais disponível e econômica de matéria orgânica para a fabricação de compostos com esterco.

A estrutura fibrosa da palha de café desempenha um papel decisivo na melhoria da estrutura do solo. Ela auxilia na formação de agregados, promovendo a aeração e porosidade do solo. Essa característica facilita a penetração da água, estimula o desenvolvimento radicular e melhora a drenagem do solo. Além disso, a capacidade de retenção de água da palha de café é benéfica para solos em regiões com baixa precipitação (Souza, 2007; Souza, 2024).

5. Mineralização do nitrogênio orgânico

A mineralização do N orgânico se refere ao processo biológico em que o N presente nos compostos orgânicos é convertido em formas inorgânicas, como amônia (NH_3), íons amônio (NH_4^+) e íons nitrato (NO_3^-), por ação de microrganismos (Carneiro *et al.*, 2013).

Os resíduos orgânicos ricos em N, como restos de alimentos, folhas verdes e outros materiais contendo proteínas, são decompostos por microrganismos presentes no solo ou adicionados intencionalmente ao processo de compostagem (Pereira Netto, 1989) (Figura 6).



Figura 6. Materiais diversos empilhados para início do processo de compostagem. Fonte: Dário Rodrigues, 2024.

Durante a decomposição, ocorre a desaminação⁸ de aminoácidos e outras moléculas orgânicas nitrogenadas. A desaminação libera amônia (NH_3) como um subproduto (Santos, 2023). Estima-se que as perdas de N durante a compostagem representem 21% a 77% do N total inicial, e que a proporção de volatilização de NH_3 pode chegar a 92% das perdas totais de N (Febrisiantosa *et al.*, 2018).

A amônia gerada durante a decomposição pode sofrer transformações químicas adicionais, como a nitrificação. Isso envolve a oxidação da amônia a nitrito (NO_2^-) por bactérias nitrosomonas, e subsequentemente, a nitrito é oxidado a nitrato (NO_3^-) por bactérias nitrobacter (Santos, 2023).

De acordo com esse mesmo autor, as enzimas secretadas pelos microrganismos atacam substratos orgânicos complexos, como proteínas,

⁸ É um processo bioquímico importante na decomposição de matéria orgânica e no metabolismo dos aminoácidos, resultando na liberação de amônia como subproduto.

lipídios, carboidratos e ácidos nucleicos. Cada tipo de enzima é especializado na hidrólise de um tipo específico de ligação química.

O conjunto de enzimas responsáveis por realizar a fixação de nitrogênio em meio biológico é denominado nitrogenase (Nunes; Niedwieski, 2003). Segundo esses mesmos autores, a nitrogenase desempenha um papel significativo no ciclo do N, processo que envolve a transformação contínua de compostos de nitrogênio em diferentes formas químicas.

Salientam destaque para a nitrogenase de vanádio, caracterizada na bactéria termofílica *Streptomyces thermoautotrophicus*, cuja propriedade mais notável é a dependência de oxigênio e do radical superóxido: ambos nocivos para a maioria das nitrogenases. O N é fixado segundo a equação (Santos, 2023):



Quando os decompositores começam a atuar na matéria orgânica nitrogenada, liberam amônia (NH_3) no ambiente. Essa amônia combina-se com a água do solo e forma o hidróxido de amônio, que se ioniza e produz o íon amônio (NH_4^+) e a hidroxila (OH^-). Esse processo é conhecido como amonização ou amonificação (Santos, 2023).

Segundo esse mesmo autor, íons amônio podem sofrer nitrificação, um processo no qual são oxidados por bactérias nitrificantes em primeiro lugar a íons nitrito (NO_2^-) e, em seguida, a íons nitrato (NO_3^-).



6. Relação Carbono/Nitrogênio

A relação C/N exerce uma influência significativa na eficiência e na velocidade da decomposição da matéria orgânica. Uma relação C/N adequada cria condições favoráveis para o crescimento microbiano e, conseqüentemente, para uma decomposição eficaz. Em condições ideais, a relação C/N desejável

para uma decomposição rápida geralmente varia entre 25:1 e 30:1 (Brietzke, 2017).

Nesse contexto, das 30 partes de C assimiladas, aproximadamente 20 são liberadas na atmosfera na forma de dióxido de carbono (CO₂), enquanto as restantes 10 partes são imobilizadas e incorporadas ao protoplasma celular dos microrganismos.

Quando a relação C/N é muito alta, o que significa uma quantidade excessiva de C em relação ao N, os microrganismos podem ser limitados pela disponibilidade de N. Nesse cenário, a decomposição pode ser retardada, já que os microrganismos necessitam de N para sintetizar proteínas e realizar outras atividades metabólicas (Höfig *et al.*, 2023).

Por outro lado, quando a relação C/N é muito baixa, com excesso de N em relação ao C, pode ocorrer a imobilização do N. Isso acontece porque os microrganismos consomem C para se decomporem, mas liberam N apenas mais tarde, quando as populações microbianas diminuem (Inácio; Miller, 2009).

7. Calcário

O calcário é frequentemente utilizado em processos de compostagem devido às suas propriedades que podem impactar positivamente a decomposição. Ele pode acelerar esse processo, pois é uma fonte de carbonato de cálcio, que atua como um corretivo de pH (Salton, 2021). Muitos microrganismos envolvidos na decomposição são sensíveis ao pH do ambiente. Proporcionar um ambiente com pH favorável melhora o desenvolvimento e a atuação desses microrganismos decompositores, otimizando seus processos (Febrisiantosa *et al.*, 2018).

Condições de pH extremamente baixo podem criar um ambiente tóxico para os microrganismos decompositores - o calcário ajuda a neutralizar essa acidez excessiva, criando um ambiente mais adequado. No entanto, é importante usar o calcário com moderação e realizar testes regulares de pH para evitar doses excessivas, pois um pH excessivamente alcalino pode impactar negativamente a atividade microbiana e a qualidade do composto resultante (Salton, 2021).

É importante ressaltar que as fontes orgânicas nem sempre fornecem todos os nutrientes em proporções equilibradas. Portanto, pode ser necessário complementar com adubos químicos para garantir uma nutrição completa às plantas.

8. Gesso Agrícola

O gesso agrícola é uma fonte rica em cálcio, um nutriente essencial para o crescimento das plantas. Quando adicionado ao composto, ele pode fornecer cálcio e corrigir a acidez do meio. Em processos de compostagem, nos quais a formação de produtos ácidos é comum, o gesso pode ajudar a equilibrar o pH, criando condições mais favoráveis para a atividade microbiana (Prochnow *et al.*, 2001).

Além disso, as propriedades do gesso podem ser vantajosas em processos de compostagem, especialmente em relação à compensação de perdas de N. Durante a decomposição, o nitrogênio pode ser perdido na forma de amônia (NH₃), que é volátil. O cálcio, presente no gesso, forma complexos com o nitrogênio amoniacal, produzindo sulfato de amônio e cálcio tetra-hidratado. Essa reação torna o N menos suscetível à volatilização, o que contribui para a retenção de N no composto (Santos, 2023).



Sulfato de amônio e Cálcio tetra-hidratado

Além disso, de acordo com esse mesmo autor, o gesso agrícola estimula o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, permitindo que as raízes se aprofundem no solo em busca de água e nutrientes. Esse processo resulta em uma significativa melhoria na absorção de água e nutrientes pelas plantas, especialmente pelas raízes mais profundas (Figura 7).

Adicionalmente, o uso de gesso ajuda a aumentar a resistência das plantas a períodos de estiagem, contribuindo para sua sobrevivência em condições climáticas adversas. Esse benefício é particularmente importante em regiões suscetíveis à secas ou com disponibilidade limitada de água (*ibidem*).



Figura 7. Desenvolvimento de sistema radicular sem e com gesso. Fonte: EMBRAPA, 2019.

Outro aspecto relevante é que o gesso agrícola melhora a absorção de outros nutrientes pelas plantas, o que potencializa seu crescimento e desenvolvimento. Esse efeito ocorre porque o cálcio presente no gesso cria condições favoráveis para a absorção de nutrientes essenciais pelas raízes das plantas. Como resultado, o uso de gesso pode promover um aumento na produtividade e na qualidade das colheitas (Santos, 2023) (Figura 8).

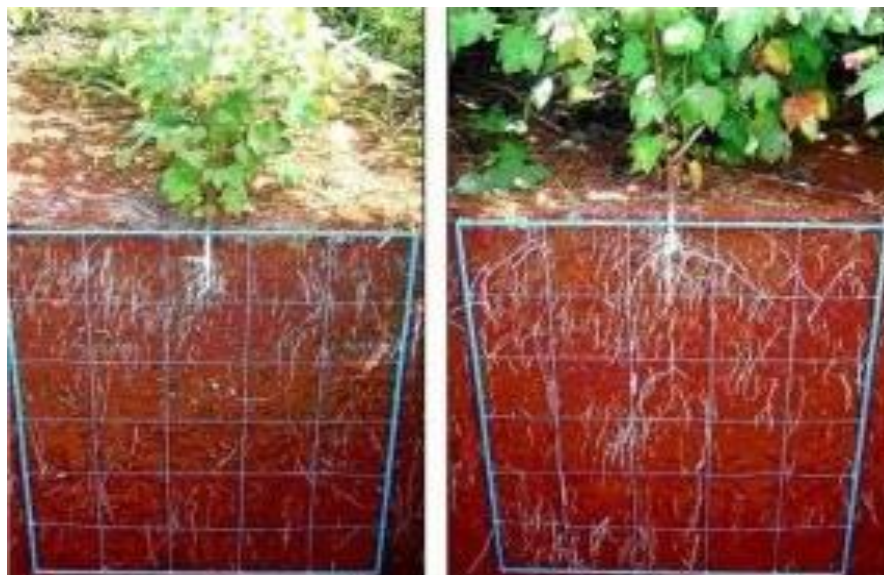


Figura 8. Sistema radicular na camada subsuperficial após a aplicação de gesso: sem gesso, à esquerda, com gesso, à direita. Fonte: EMBRAPA, 2010.

Na Figura 8, Djalma Martinhão, pesquisador da Embrapa-CPAC, ilustra a aprimoração do sistema radicular na camada subsuperficial após a aplicação de gesso.

9. Adubação química

O uso adequado de fertilizantes, tanto químicos quanto orgânicos, desempenha um papel decisivo na melhoria da produtividade dos solos agrícolas no Brasil, muitas vezes carentes de nutrientes essenciais. Nos anos das décadas de 1950 a 1970, houve uma forte ênfase na adubação mineral como uma inovação tecnológica, levando ao quase completo esquecimento do uso de adubação orgânica nesse período.

A adubação química envolve a aplicação de fertilizantes sintéticos contendo nutrientes específicos para promover o crescimento das plantas. Embora essa técnica apresente vantagens, como o controle preciso sobre os nutrientes fornecidos às plantas e a capacidade de formulação personalizada de misturas de nutrientes, é importante considerar cuidadosamente seus aspectos, tanto positivos quanto negativos, para um manejo adequado do solo (Ribeiro *et al.*, 1999).

O uso excessivo de fertilizantes químicos pode levar à lixiviação de nutrientes para corpos d'água, resultando na poluição da água e contribuindo para problemas como a eutrofização. Além disso, o uso indiscriminado desses fertilizantes pode levar ao acúmulo de substâncias químicas no solo, causando desequilíbrios e afetando negativamente sua qualidade e saúde em longo prazo (Malavolta, 2015).

Além disso, os fertilizantes químicos frequentemente têm um custo elevado, uma vez que muitos de seus componentes são importados, representando um desafio financeiro significativo para os produtores (Pinto *et al.*, 2023).

Por outro lado, a atividade agropecuária gera uma grande variedade de resíduos, como dejetos de animais, restos de culturas, palhas e resíduos das agroindústrias. Quando gerenciados adequadamente, esses resíduos podem suprir parte da demanda por insumos industrializados, sem causar impactos adversos ao solo, água e ao meio ambiente de forma geral. Portanto, é

importante promover práticas de manejo sustentável que valorizem o uso eficiente de recursos orgânicos disponíveis na agricultura.

10. Adubação orgânica

A adubação orgânica é uma prática agrícola sustentável que se baseia no uso de materiais orgânicos, como esterco, restos de vegetais e outros resíduos decomponíveis, para fornecer nutrientes essenciais ao solo e às plantas (Calgaro *et al.*, 2008; Souza, 2024). Uma das principais vantagens dessa prática, segundo os autores, é sua capacidade de reduzir a dependência da adubação química, trazendo benefícios significativos para a saúde do solo, a sustentabilidade agrícola e a preservação do meio ambiente.

A adubação orgânica enriquece o solo com matéria orgânica, contribuindo para a formação de substâncias húmicas que melhoram a estrutura do solo. Isso aumenta a capacidade de retenção de água, promove a aeração e estimula a atividade microbiana, criando um ambiente propício para o crescimento das plantas e reduzindo a necessidade de aplicação excessiva de insumos químicos (Andrade *et al.*, 2017).

Além disso, ao utilizar resíduos agropecuários e restos de culturas na adubação orgânica, há uma redução na quantidade de resíduos descartados de forma inadequada, evitando impactos e externalidades ambientais negativos, proporcionando ganhos econômicos pela redução no uso de adubos químicos (Tavares; Tavares, 2021).

A incorporação de matéria orgânica nos solos desempenha também um papel importante no controle de pragas e doenças, melhorando as condições de cultivo e nutrição das plantas, além de aumentar a biodiversidade do solo. Isso resulta no aumento da população de inimigos naturais das pragas, contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

A prática da incorporação de matéria orgânica nos solos não só beneficia as plantas e o ambiente, mas também contribui para a construção de sistemas agrícolas mais sustentáveis e resilientes em longo prazo: aumenta sua capacidade de retenção de água, ajudando a evitar a erosão e a manter a umidade adequada para as plantas. Isso é especialmente relevante em áreas propensas à seca ou com solos pobres em matéria orgânica.

Além disso, a prática da incorporação de matéria orgânica contribui para reduzir a dependência de insumos externos, como fertilizantes químicos, o que pode resultar em economia de custos para os agricultores e redução da poluição ambiental causada pelo excesso de produtos químicos.

No contexto da agricultura sustentável, onde há uma crescente preocupação com a conservação dos recursos naturais e a redução dos impactos ambientais, a incorporação de matéria orgânica nos solos desempenha um papel fundamental na construção de sistemas agrícolas mais resilientes e sustentáveis em longo prazo.

11. Considerações

O cenário descrito no presente trabalho destaca a urgência em adotar práticas agrícolas sustentáveis para reverter a degradação dos solos brasileiros e reduzir a dependência de adubos químicos, cujo uso excessivo contribui para aumentar os custos de produção e, por consequência, os preços dos alimentos. A compostagem emerge como uma solução viável e eficaz para a gestão dos resíduos orgânicos, promovendo a reciclagem desses materiais de forma segura e seu reuso na agricultura.

No Brasil, onde são geradas centenas de milhões de toneladas de resíduos orgânicos anualmente, a compostagem pode desempenhar um papel fundamental na promoção da sustentabilidade agrícola e na preservação ambiental. Ao aproveitar esses resíduos, a compostagem reduz as perdas de nutrientes e maximiza sua utilização, contribuindo para a fertilidade do solo e para o aumento da produção agrícola.

Além disso, a prática da compostagem impede o acúmulo excessivo de nutrientes em áreas específicas, prevenindo possíveis problemas ambientais, como a contaminação de corpos d'água por lixiviação de nutrientes. Ao mesmo tempo, ela supre as demandas de nutrientes em outras regiões para a produção vegetal, garantindo um ciclo sustentável de nutrientes no ambiente agrícola.

A compostagem melhora a estrutura do solo, tornando-o mais arejado e facilitando a penetração de água e raízes das plantas. Isso ajuda a aumentar a produtividade das culturas e a reduzir os problemas de compactação do solo, especialmente em áreas onde o uso intensivo de maquinário agrícola é comum.

Ao fornecer nutrientes de maneira orgânica e gradual, a compostagem reduz a necessidade de fertilizantes químicos, que podem ser prejudiciais ao meio ambiente quando aplicados em excesso. Isso também pode resultar em economia de custos para os agricultores em longo prazo.

Portanto, investir em técnicas de compostagem e outras práticas conservacionistas são essenciais para promover a recuperação e a saúde dos solos brasileiros, garantindo a segurança alimentar e a sustentabilidade ambiental para as gerações futuras.

12. Referências

ALOTAIBI, K. D.; KUMAR, V. A review on composting of organic wastes from agro-industries. **Sustainability**, v. 10, n. 10, p. 3648-3669, 2018.

ANDRADE, B. N.; FREITAS-PINHEIRO, J.; OLIVEIRA, E. M. A importância da produção orgânica para a saúde humana e o meio ambiente. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 4, n. 2, p. 227-233, 2017.

ASSIS CARNEIRO, R. S.; VIEIRA, C. R. Produção de mudas de espécies florestais em substrato contendo esterco de aves ou esterco bovino. **Ensaios e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 24, n. 4, p. 386-395, 2020.

AWASTHI, M. K.; PANDEY, A. K.; KHAN, J.; BUNDELA, P. S.; WONG, J. W. C.; SELVAM, A. Recent advances in the sustainable composting of food waste: Process parameters, challenges, and future perspectives. **Bioresource Technology**, n. 294, p. 122-155, 2019.

BHARTI, A.; RAJOR, A.; HOODA, V. Review on composting methods for food waste. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 7, n. 3, 3891-3899, 2018.

BRIETZKE, D. T. **Avaliação do processo de compostagem considerando a relação carbono/nitrogênio**. 2017.

CALGARO, H. F.; VALÉRIO FILHO, W. V.; AQUINO, S. D. S.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Adubação química e orgânica na recuperação da fertilidade de subsolo degradado e na micorrização do *Stryphnodendron polyphyllum*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 32, p. 1337-1347, 2008.

CANTÚ, R, R; MORALES, R. G. F; SCHALLENBERGER, E.; VISCINTI, A. **Compostagem: estratégia para transformar resíduos em fertilizantes**. Edição: Epagri/DEMC, Divulgação: On-line Florianópolis, fevereiro/2022.

CARNEIRO, W. J. D. O.; SILVA, C. A.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Mineralização de nitrogênio em Latossolos adubados com resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 37, p. 715-725, 2013.

CARVALHO, A. M. D.; SANDY, E. C.; AGUIAR, V. D. A.; VALLONE, H. S. Efeito da palha de café pura e compostada sobre o desenvolvimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). Simpósio de Pesquisa dos cafés do Brasil (4.:2005: Londrina, PR). **Anais...** Brasília, D.F.: Embrapa Café, 2005.

FEBRISANTOSA, A; RAVINDRAN, B; CHOI, H, L. O efeito dos co-aditivos (Biochar e FGD Gesso) na volatilização da amônia durante a compostagem de resíduos pecuários. **Sustentabilidade** n. 10, p. 795-816, 2018. DOI: 10.3390/su10030795.

FIORI, M. G. S.; SCHOENHALS, M.; FOLLADOR, F. A. C. Análise da evolução tempo-eficiência de duas composições de resíduos agroindustriais no processo de compostagem aeróbia. **Engenh. Amb.**, n. 5, p. 178-191, 2008.

FRANCISCHETTO, B. de M.; SANTANA, C. I.; OLIVEIRA, P. P. S.; PÁSCHOA, J. C. V. da; MENDONÇA, P. P.; ZACARIAS, A. J.; EGIDIO, L. S.; SOUZA, M. N. Compostagem como prática interdisciplinar da Educação Ambiental e Agroecologia. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Vol. V. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2023. 348 p. ISBN: 978-65-84548-12-1. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-12-1.c4>

HÖFIG, P; MARTINS, E. S. M.; GIASSON, E.; ARANTES, B. S. Diferentes rochas moídas no processo de compostagem em Unaí/MG: fertilizante orgânico e autonomia agrícola. **Geographia Opportuno Tempore Universidade Estadual de Londrina**. ISSN: 2358-1972. Volume 9, 2023 DOI: doi.org/10.5433/got.2023.v9.47425.

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

JUNQUEIRA, J. B. **Biodigestão anaeróbia e compostagem com dejetos de bovinos confinados e aplicação do biofertilizante e do composto em área cultivada com *Panicum maximum* JACQ., cv Tanzânia**. Dissertação de mestrado em Zootecnia. Universidade Estadual Paulista “Julio De Mesquita Filho”. Jaboticabal, São Paulo – Brasil. 2011.

KAUSHIK, P.; GARG, V. K. Waste-derived biochar for the improvement of composting process and compost quality. **Environmental Pollution**, n. 252, p. 355-364, 2019.

LI, Z.; ZHANG, X.; WANG, H.; WANG, Y.; ZHANG, H.; ZHANG, Z.; ZHANG, J. Factors affecting the maturity and stability of composts: A review. **Science of The Total Environment**, n. 634, p. 907-911, 2018.

MALAVOLTA, E. **Adubos e adubações**. NBL Editora, 2015.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura do café no Brasil: manual de recomendações**. Rio de Janeiro; Varginha: Fundação Procafé, 2010. 542 p.

NUNES, F. S.; RAIMONDI, A. C.; NIEDWIESKI, A. C. Fixação de nitrogênio: estrutura, função e modelagem bioinorgânica das nitrogenases. **Química Nova**, n. 26, p. 872-879, 2003.

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

PINTO, M. E. L.; ARGENTA, C. V.; BRUM, A. L.; VIEIRA, E. P. Os reflexos na etapa final da cadeia produtiva de fertilizantes diante do atual cenário econômico Brasileiro: Um estudo de caso em uma empresa do município de Catuípe, RS. **Anais...** Simpósio Latino-Americano de Estudos de Desenvolvimento Regional, v. 3, n. 1. 2023

PROCHNOW, L. I.; CUNHA, C. F.; KIEHL, J. D. C.; ALCARDE, J. C. Controle da volatilização de amônia em compostagem, mediante adição de gesso agrícola e superfosfatos com diferentes níveis de acidez residual. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 25, p. 65-70, 2001.

SALTON, K. Z. **Comparativo de aplicação de composto orgânico, calcário e gesso como fonte de cálcio e magnésio no cultivo de videiras**: estudo de caso (Bachelor's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná). 2021.

SÁNCHEZ, A.; OPATOKUN, S. A.; KOMILIS, D. Factors affecting the composting of food waste in tropical and subtropical regions: a review. **Bioresource Technology**, n. 280, p. 31-41, 2019.

SANTOS, V. S. dos. **"Ciclo do Nitrogênio"**. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/biologia/ciclo-nitrogenio.htm>. Acesso em: 08 dez. 2023.

SOUZA, F. S. D. **Atributos físicos do solo cultivado com cafeeiro submetido aos manejos orgânico e convencional**. 2007.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em gestão ambiental**. Vol. I. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. 325 p. ISBN: 978-65-84548-22-0. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-22-0>.

TAVARES, F. J.; TAVARES, E. M. Estudo da destinação dos resíduos de origem animal em propriedades rurais para a produção de fertilizantes organominerais. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 2, n. 3, p. 16-16, 2012.

WANG, J.; SUN, X.; ZHAO, Y.; ZHANG, Z.; ZHANG, H. Microbial community structure and diversity in a municipal solid waste composting plant in Nanning, China. **Journal of Environmental Sciences**, n. 65, p. 348-356, 2018.

WARTCHOW, D.; GEWEHR, A. G.; SILVA, J. S. da. **A importância ambiental e econômica da compostagem-estudo de caso**: município de Ijuí/RS. In: 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental–ABES. 2011.