

## COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS: UMA FONTE DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS

Joyce Doria Rodrigues Soares<sup>1\*</sup>; Renata Alves Lara Silva Rezende<sup>1</sup>; Ramiro Machado Rezende<sup>1</sup>; Elberis Pereira Botrel<sup>1</sup>; Alex Mendonça de Carvalho<sup>1</sup>

SAP 16973      Data envio: 26/05/2017      Data do aceite: 01/06/2017  
Sci. Agrar. Parana., Marechal Cândido Rondon, v. 16, n. 4, out./dez., p. 414-421, 2017

**RESUMO** - Diante de um cenário onde se busca cada vez mais a sustentabilidade, a compostagem assume papel-chave na reciclagem de resíduos orgânicos de origem agrícola. Compostagem é o processo de decomposição da matéria orgânica por microrganismos sob condições controladas formando um composto final biologicamente estabilizado. Esse composto orgânico pode ser utilizado no solo visando a melhoria das características físicas, químicas e biológicas deste, por conter em sua composição condicionadores de solo como substâncias húmicas. As substâncias húmicas são moléculas complexas produzidas nesse processo de transformação da matéria orgânica e contribuem para a regulamentação de importantes processos ecológicos e ambientais. Nesta revisão serão comentados os principais aspectos do processo de compostagem e as principais atividades desempenhadas pelas substâncias húmicas nos vegetais.

**Palavras-chave:** compostagem, decomposição, gestão de resíduos, humificação, microrganismos, resíduos sólidos orgânicos.

### *AGRICULTURAL WASTE COMPOSTING: A SOURCE OF HUMIC SUBSTANCES*

**ABSTRACT** - Faced with a scenario where the sustainability is increasingly sought, the waste composting plays a key role in the recycling of organic waste from agriculture. Waste composting is the process of decomposition of organic matter by microorganisms under controlled conditions forming a biologically stabilized final compound. This organic compound can be used in soil to improve its physical, chemical and biological characteristics. Humic substances are complex molecules produced in this transformation process of organic matter and they contribute to the regulation of important ecological and environmental processes. In this review, we will comment the main aspects of the waste composting and the main activities of the humic substances in plants.

**Key words:** composting, decomposition, waste management, humification, microorganisms, organic solid waste.

### INTRODUÇÃO

A população mundial está em torno de 7 bilhões de habitantes e estima-se que até o ano de 2050 esse total atinja os 9 bilhões (POPULATION REFERENCE BUREAU, 2011). Esse grande crescimento populacional aliado aos enormes avanços observados na geração de tecnologias alavancam a necessidade por recursos naturais, aumentando o montante de resíduos gerados, notadamente os resíduos oriundos das atividades agrícolas, ou agrossilvopastoris. Atividades agropecuárias intensivas geram grandes quantidades e diferentes tipos de resíduos orgânicos. Nos últimos anos, tem crescido a demanda para a reciclagem desses materiais devido aos benefícios da redução do consumo de recursos naturais, permitindo a reciclagem de nutrientes, aumentando os níveis de matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, melhorando características físicas, químicas e biológicas do solo (LIM et al., 2016).

A compostagem é uma das tecnologias mais aceitas para a reciclagem de resíduos orgânicos na agricultura, pois evita os inconvenientes associados à

aplicação direta de resíduos ou matérias pouco estabilizadas, tais como imobilização de nutrientes pela planta e fitotoxicidade (GUIDONI et al., 2013). A compostagem consiste na transformação da matéria orgânica por meio da sucessão rápida de populações microbianas sob condições aeróbicas, em um produto bem estabilizado. Durante esse processo, uma parte da matéria orgânica é mineralizada para CO<sub>2</sub>, ao passo que outra parte é transformada em substâncias húmicas (WU et al., 2014).

As substâncias húmicas são moléculas complexas, com elevado peso molecular, compostas por huminas, ácidos fúlvicos e ácidos húmicos (GUERRA et al., 2008). Elas contribuem para a regulação de vários processos ambientais de grande importância, tais como o ajuste do ciclo de carbono e nitrogênio e a estabilização da estrutura do solo (PICCOLO, 2002). Neste contexto, os compostos orgânicos por conterem substâncias húmicas, podem fornecer uma tecnologia potencial para integrar diferentes abordagens biotecnológicas para a intensificação ecológica como a promoção do crescimento das plantas e a adaptação destas às novas formas de produção alimentar.

<sup>1</sup>Universidade Federal de Lavras, Departamento de Agricultura, campus Universitário, Caixa Postal 37, CEP 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil. E-mail: [joyce.soares@dag.ufla.br](mailto:joyce.soares@dag.ufla.br). \*Autor para correspondência

## DESENVOLVIMENTO

### Compostagem de resíduos

Compostagem é o processo de decomposição da matéria orgânica por microrganismos sob condições controladas formando um composto final biologicamente estabilizado. Este fenômeno depende de oxigênio e caracteriza-se pela geração de calor (INÁCIO; MILLER, 2009). O resultado final da compostagem é a formação de um composto orgânico que pode ser utilizado no solo para melhorar sua estrutura e fornecer nutrientes. Resíduos vegetais e animais, frações orgânicas de lixo doméstico e resíduos industriais são exemplos de materiais que podem ser utilizados no processo de compostagem (LIM et al., 2016). Por outro lado, materiais como plásticos, vidros, metais, óleos, couros, papéis e dejetos humanos não devem ser aproveitados.

A compostagem é considerada uma das metodologias mais sustentáveis para gestão de resíduos sólidos orgânicos em agroecossistemas, uma vez que, propicia aos resíduos orgânicos, um destino útil evitando o acúmulo destes em locais inadequados (FAN et al., 2017). A tecnologia é uma das melhores opções para o tratamento dos resíduos agrícolas pois é um processo favorável ao ambiente e adiciona valor a uma grande variedade de resíduos. Além disso, o composto obtido é rico em matéria orgânica (que desempenha papel importante na manutenção da fertilidade do solo) e em nutrientes para as plantas. A aplicação do composto também colabora para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Tudo isso contribui para que o solo se torne mais resistente à problemas ambientais como doenças, seca e toxicidade, auxilie as culturas na absorção de nutrientes e apresente ciclagem de nutrientes devido à vigorosa atividade microbiana (MISRA et al., 2003). Com isso tem-se menores riscos de cultivo, maiores rendimentos e menores gastos com fertilizantes inorgânicos para agricultores.

### Fases da compostagem

Durante a compostagem, a matéria orgânica é transformada como resultado de complexas interações entre processos químicos (reações químicas), físicos (temperatura, aeração) e biológicos (ação de microrganismos) (TEJADA et al., 2009). O processo de decomposição ocorre em fases, sendo elas muito distintas umas das outras. Suas principais características são:

1ª) Fase mesofílica: Nessa fase, os microrganismos mesófilos (ativos a temperaturas próximas da temperatura ambiente) começam a se proliferar tão logo a matéria orgânica é aglomerada na composteira. Estes são de extrema importância para decomposição do lixo orgânico. Os microrganismos, sobretudo as bactérias, irão metabolizar principalmente aqueles nutrientes mais facilmente encontrados. Os microrganismos mesófilos utilizam o oxigênio disponível para transformar o carbono do material orgânico em energia, liberando CO<sub>2</sub>, água e calor (INÁCIO; MILLER, 2009). O calor gerado nas reações químicas é armazenado no interior das composteiras. Nesta fase, as temperaturas são moderadas (cerca de 40-45 °C) e o processo dura até que os

microrganismos termófilos se instalem, o que ocorre quando as temperaturas se elevam em demasia a ponto de os microrganismos mesófilos morrerem (INSAM et al., 2002), o que pode acontecer em poucos dias, dependendo dos resíduos e do método utilizados. De acordo com Kiehl (2004), esta fase é caracterizada por células microbianas em estado de latência, porém, com intensa atividade metabólica, apresentando elevada síntese de enzimas.

2ª) Fase termofílica: É a fase mais longa, e pode se estender por mais de dois meses, dependendo das características do material que está sendo compostado (LÓPEZ-GONZÁLEZ et al., 2013). Nessa fase, predominam fungos e bactérias termofílicas que são capazes de sobreviver a temperaturas entre 65 e 70 °C. Nessa fase ocorrem reações bioquímicas de oxigenação mais intensas. Estes microrganismos irão atuar de forma plena degradando as moléculas mais complexas. A atividade dos termófilos gera muito mais calor que os mesófilos, por isso nessa fase observam-se temperaturas bem mais altas quando comparada à fase anterior. Os microrganismos termófilos continuam atuando na massa até que não haja mais substrato de fácil decomposição a ser transformado (INÁCIO; MILLER, 2009). As elevadas temperaturas que são alcançadas nesta fase possibilitam a eliminação de diferentes agentes patogênicos e sementes de plantas daninhas presentes na massa (INSAM et al., 2002; KIEHL, 2004).

3ª) *Cooling*: Nesta fase, a disponibilidade de substrato a ser decomposto já é muito pequena, fazendo com que os microrganismos termófilos diminuam sua atividade o que colabora para redução drástica da temperatura. Esse novo ambiente com temperaturas mais baixas favorece o crescimento dos microrganismos mesófilos que voltam a colonizar a massa.

4ª) Fase da maturação (ou fase de cura): Nessa fase ocorre diminuição da atividade microbiana, da acidez e da temperatura. Esta última decresce de forma gradativa até se aproximar da temperatura ambiente, pois o composto perde a capacidade de auto aquecimento (INÁCIO; MILLER, 2009). É um período de estabilização que produz um composto maturado. A maturidade do composto ocorre quando a decomposição microbiológica se completa e a matéria orgânica é transformada em húmus, de cor escura e textura turfa, livre de toxicidade, metais pesados e patógenos (INSAM et al., 2002), e é acompanhada da mineralização de determinados componentes da matéria orgânica, como nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio, que passam da forma orgânica para a inorgânica, ficando disponíveis às plantas (KIEHL, 2004).

A maturação do composto é relacionada à presença de ácidos húmicos, e o incremento no valor de substâncias húmicas durante o processo de compostagem promove a melhoria da qualidade do composto, uma vez que atuam direta ou indiretamente em propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (SENESI; PLAZA, 2007).

### Fatores que interferem na compostagem

A eficiência do processo de compostagem está diretamente relacionada a diversos fatores ambientais. A otimização da combinação desses fatores proporciona condições ótimas para que os microrganismos aeróbios possam se multiplicar e atuar na transformação da matéria orgânica.

#### Microrganismos

Os microrganismos são os responsáveis pela decomposição dos resíduos. Sua capacidade para transformar matéria orgânica está relacionada à sua aptidão para produção de enzimas que degradem o substrato. Se os substratos forem muito complexos, os microrganismos também devem apresentar um sistema enzimático desenvolvido que consiga produzir as enzimas necessárias para a quebra das moléculas em questão (TUOMELA et al., 2000).

Durante o processo de compostagem, diferentes populações de microrganismos interagem entre si e também com os fatores ambientais aos quais estão submetidos (CHANG; HSU, 2008). Em uma leira de compostagem podem ser encontradas bactérias, actinobactérias e fungos, sendo que há predominância de algum desses grupos de acordo com a fase em que o processo se encontra.

Na fase inicial da compostagem, sobressaem-se as bactérias as quais conseguem processar carboidratos, algumas proteínas e açúcares de forma eficiente. Segundo Inácio e Miller (2009), de 80-90% do material é transformado por bactérias. Espécies dos gêneros *Clostridium* e *Bacillus* são facilmente encontradas durante o processo inicial de compostagem.

As actinobactérias são bactérias Gram positivas filamentosas que apresentam características de fungos. Uma peculiaridade desse grupo de microrganismos é a capacidade de produção de enzimas que degradam macromoléculas de alta complexidade encontradas no solo (PEREIRA et al., 2012). Durante a compostagem, podem ser identificadas diversas espécies de actinobactérias, tais como as do gênero *Streptomyces* (REBOLLIDO et al., 2008).

O terceiro grupo de microrganismos encontrados durante o processo de compostagem é o dos fungos. Os fungos são organismos aeróbicos predominantes em solos ácidos. Possuem crescimento bem menos vigoroso quando comparado ao das bactérias. *Aspergillus* e *Penicillium* são gêneros verificados no processo de compostagem (NAEGELE et al., 2016).

#### Temperatura

Fator mais indicativo do equilíbrio biológico, a temperatura é de suma importância na realização do processo de compostagem. O calor produzido nas reações químicas devido à ação dos microrganismos se acumula na massa compostada alcançando temperaturas que podem passar dos 70 °C (CÁCERES et al., 2015). Dependendo da temperatura predominante na massa, prevalecerá um determinado grupo de microrganismos adaptado àquelas condições. A taxa máxima de decomposição normalmente

ocorre entre 45 e 55 °C. Acima de 70 °C grande parte dos microrganismos não sobrevivem.

A temperatura da pilha de compostagem sofre influências de diversos fatores, tais como tamanho da pilha, aeração e umidade. Pilhas muito altas e que apresentem pequena área de superfície contribuirão para o aumento da temperatura em seu interior. Nesse sentido, a temperatura pode ser controlada diminuindo-se o tamanho da pilha. Pouca aeração dentro da massa compostada também acarreta em aumento da temperatura (HERBETS et al., 2005). Por isso, é recomendado proceder o revolvimento das pilhas quando a temperatura for maior que 70 °C. Temperaturas muito altas também podem ser devido à excesso de umidade na massa.

Durante o processo de compostagem, a temperatura das pilhas deve ser verificada diariamente para que as condições ótimas de decomposição sejam mantidas. Essa medição pode ser feita utilizando-se termômetro ou barra de ferro (SILVA et al., 2015).

É bom salientar que as altas temperaturas atingidas durante as fases iniciais da compostagem propiciam a eliminação de microrganismos patogênicos e sementes de plantas daninhas, contribuindo para a formação de um composto final com alta qualidade e sem contaminações (HECK et al., 2013).

#### Aeração

Para que ocorra a decomposição do material é necessária a presença de oxigênio na massa, pois os microrganismos responsáveis pela transformação da matéria orgânica são predominantemente aeróbios. Na ausência de oxigênio, podem ocorrer reações químicas por vias anaeróbicas que acarretarão na produção de gases tóxicos que podem acidificar o composto final, alterando sua qualidade (KIEHL, 2004). A deficiência de aeração pode ser devido à compactação na mistura, excesso de umidade e ao tamanho da pilha. Para fornecer oxigenação para os microrganismos atuantes na compostagem, deve-se proceder ao revolvimento das leiras que pode ser realizado de forma manual com auxílio de pás, enxadas e garfos, ou de forma mecânica utilizando máquinas revolvedoras, pás carregadeiras e caçambas processadoras (VALENTE et al., 2009).

A manutenção da aeração dentro das leiras também é importante para diminuição da temperatura (pela remoção do excesso de calor produzido), de vapor de água e eventuais gases oriundos da decomposição e para secagem e diminuição do volume do material a ser decomposto (KIEHL, 1985; HECK et al., 2005). Além disso, de acordo com Cotta et al. (2015), a aeração da pilha de compostagem também aumenta a velocidade de oxidação e diminui a liberação de odores.

#### Umidade

Para que os microrganismos tenham suas necessidades fisiológicas atendidas, é fundamental a presença de água. Segundo Herbets et al. (2005), a transformação da matéria orgânica é diretamente proporcional e dependente da água disponível. A falta de água na pilha de compostagem acarreta em retardamento

do processo de decomposição. Por outro lado, o excesso de água propicia o preenchimento dos poros, reduzindo a oxigenação da pilha, o que favorece a ocorrência de processos de anaerobiose. Segundo Valente et al. (2009), a umidade ótima encontra-se na faixa entre 50 a 60%. Se a pilha estiver com baixa umidade (< 40%), recomenda-se a irrigação da mesma, e caso esteja encharcada (> 65%) deve-se proceder ao revolvimento da leira (INÁCIO; MILLER, 2009).

#### *Relação C/N*

Os nutrientes de maior importância para a atividade dos microrganismos são carbono e nitrogênio. O carbono é utilizado como fonte energética e material básico para construção de células microbianas, enquanto o nitrogênio é importante para a produção de proteínas, ácidos nucleicos e aminoácidos e para o crescimento e funcionamento celular (SIERRA et al., 2013). A relação carbono/nitrogênio (C/N) dos resíduos usados na compostagem influencia a ação dos microrganismos, de forma que, dependendo do resíduo orgânico adicionado à pilha, tem-se diferentes tempos de decomposição da mistura (VALENTE et al., 2009). Cada resíduo apresenta quantidades diferentes de carbono e nitrogênio. Palhas diversas e serragens são exemplos de materiais ricos em carbono. Por outro lado, esterco e restos de comida são materiais ricos em nitrogênio.

Se faltar nitrogênio, ou seja, se a relação C/N for muito alta, a taxa de decomposição será menor devido à baixa atividade dos microrganismos, conseqüentemente a temperatura também diminui. Contrariamente, se a quantidade de nitrogênio for pequena (baixa relação C/N), pode ocorrer diminuição da atividade microbiana, uma vez que materiais com baixa relação C/N desestruturaram-se muito rapidamente de forma que seus espaços vazios (poros) são preenchidos e o oxigênio existente nestes é perdido. Dessa forma, a menor aeração contribui para redução da atividade dos microrganismos (INÁCIO; MILLER, 2009). A baixa relação C/N também favorece a volatilização do nitrogênio em excesso na forma de amônia, o que pode provocar liberação de odores fortes e desagradáveis (BERNAL et al., 2009).

Uma relação C/N na faixa de 25 a 35 é considerada adequada, sendo que a relação C/N de 30 é tida como a ideal, ou seja, 30 partes de carbono para 1 parte de nitrogênio, uma vez que os microrganismos absorvem 30 vezes mais carbono do que nitrogênio (KIEHL, 1985).

#### *pH*

Cada grupo de microrganismo decompositor está adaptado a uma determinada faixa de pH, porém a grande maioria se adapta bem a pH's neutros, em torno de 5 a 7 (INÁCIO; MILLER, 2009). Apesar disso, o pH não é considerado um fator limitante da compostagem, uma vez que diversos microrganismos conseguem se desenvolver em mais de uma faixa de pH. No início do processo de compostagem, o pH da mistura de resíduos alcança valores mais baixos devido à formação de ácidos orgânicos (HERBETS et al., 2005). Com o passar do tempo, ácidos e

proteínas solúveis são metabolizados e, conseqüentemente, o pH se eleva para, aproximadamente, 7 a 8 no final da compostagem, quando o composto já se apresenta estável.

#### *Granulometria*

O tamanho das partículas, ou granulometria, dos resíduos a serem compostados influencia na taxa de decomposição pelos microrganismos. Quanto menores forem as partículas do material, maior será o ataque microbiano devido à maior área superficial disponível (VALENTE et al., 2009). A granulometria do material também contribui para a porosidade no interior da pilha, o que favorece diretamente a aeração da mistura. A atenção com o tamanho das partículas também viabiliza a menor compactação dos resíduos na pilha, uma vez que partículas muito finas favorecem maior compactação da massa e conseqüentemente menor aeração (COTTA et al., 2015). Nas situações em que o material a ser decomposto se encontrar em tamanhos muito grandes, recomenda-se a trituração dos resíduos, principalmente os vegetais de alta relação C/N visando à aceleração da decomposição (INÁCIO; MILLER, 2009). De acordo com Bidone e Povinelli (1999), o tamanho ideal de partículas encontra-se na faixa entre 1 e 5 cm.

#### **Substâncias húmicas**

Um grande desafio da atualidade é construir sistemas de produção de alimentos baseados em estratégias de intensificação ecológica que promovam a eficiência do uso de nutrientes, reduzam a necessidade de controle de doenças e pragas, aumentem a eficiência e a conservação do uso da água e que restaurem fertilidade do solo (TITTONELL, 2014). Na fração do solo se desenvolvem milhões de microrganismos que são responsáveis por decompor restos vegetais e animais, formando uma porção que pode conferir às plantas, tanto maior eficiência no uso da água quanto redução na perda de nutrientes por lixiviação, esta porção é a matéria orgânica do solo (ASLI; NEUMANN 2010; SCHIAVON et al., 2010).

Assim, a matéria orgânica do solo pode ser dividida em dois grupos fundamentais. O primeiro grupo é constituído pelos produtos da decomposição dos resíduos orgânicos e do metabolismo microbiano como proteínas e aminoácidos, carboidratos simples e complexos, resinas, ligninas e outros. Essas macromoléculas constituem, aproximadamente, 10% a 15% da reserva total do carbono orgânico nos solos minerais. O segundo grupo é representado pelas substâncias húmicas propriamente ditas, constituindo 85% a 90% da reserva total do carbono orgânico (EYHERAGUIBEL et al., 2008).

As substâncias húmicas (SH) são formadas por transformações químicas e biológicas da matéria vegetal e animal e do metabolismo microbiano, e representam o maior reservatório de carbono orgânico na superfície terrestre (SIMPSON et al., 2002). Eles contribuem para a regulamentação de muitos processos ecológicos e ambientais cruciais. Por exemplo, as SH melhoram o crescimento das plantas e a vida terrestre em geral, regulam o ciclo do carbono e nitrogênio do solo, o destino e o transporte de compostos antropogênicos e metais

pesados e a estabilização da estrutura do solo (PICCOLO, 2002), além disso, as substâncias húmicas nos solos afetam a fisiologia das plantas e a composição e função dos microrganismos da rizosfera (VARANINI; PINTON, 2001).

SH são coleções de compostos heterogêneos, originalmente categorizados de acordo com seus pesos moleculares, reatividade e solubilidade em: huminas, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos (Tabela 1) (NARDI et al., 2009; PICCOLO, 2002), sendo que, a atividade das

substâncias húmicas está relacionada às suas características estruturais (BERBARA; GARCÍA, 2014). A humina é a fração insolúvel tanto no meio alcalino como no meio ácido, o ácido húmico é a fração escura extraída geralmente em meio alcalino e insolúvel em meio ácido diluído e os ácidos fúlvicos são frações coloridas alcalino-solúvel que se mantêm em solução após a remoção dos ácidos húmicos por acidificação e possuem um maior conteúdo de grupos funcionais ácidos (PICCOLO, 2012; BERBARA; GARCÍA, 2014).

**TABELA 1.** Algumas propriedades químicas importantes das diferentes frações.

Propriedades	Ácidos fúlvicos	Ácidos húmicos	Humina
Massa molecular (D)	640 - 5000	10000 - 100000	> 100000
CTC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	~1400	~500	< 500

Fonte: Adaptado de Piccolo (2002).

### Efeito bioestimulante das substâncias húmicas

Além de exercerem influência em diversos atributos do solo, tais como no favorecimento de coloração escurecida, aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), redução da densidade aparente, melhor agregação de partículas e aumento da disponibilidade de fósforo, bem como no fornecimento de enxofre, as SH também atuam como bioestimulantes de plantas (BALDOTTO; BALDOTTO, 2014; CARON et al., 2015).

Bioestimulantes de plantas ou bioestimulantes agrícolas incluem diversas substâncias e microorganismos que promovem crescimento de vegetal. O mercado de biológicos agrícolas projetou alcançar um valor de 11.35 bilhões de dólares em 2022, e uma taxa de crescimento anual de 12,76% de 2016 a 2022 (ANONYMOUS, 2017). A definição e o conceito de bioestimulantes vegetais ainda estão em evolução (CALVO et al., 2014), provavelmente devido à diversidade de insumos que podem ser considerados como bioestimulantes.

A amplitude desses conceitos fica evidenciada em dois consórcios de indústrias de bioestimulantes, um na Europa e outro na América do Norte. Dentro da Europa, definiu-se que “Os bioestimulantes das plantas contêm substância(s) e/ou microrganismos cuja função quando aplicada à rizosfera é estimular processos naturais para aumentar/beneficiar a absorção de nutrientes, eficiência de nutrientes, tolerância ao estresse abiótico e qualidade da cultura. Os bioestimulantes não têm ação direta contra as pragas e, por conseguinte, não se enquadram no quadro regulamentar dos pesticidas” (EUROPEAN BIOSTIMULANTS INDUSTRY, 2012a). De acordo com esse conceito, existe uma clara diferenciação entre os bioestimulantes de plantas e os sistemas de controle biológico e resistência induzida contra as doenças, concentrando-se nos efeitos relacionados ao crescimento das plantas, tolerância a stress e à qualidade.

Na América do Norte definiu-se os bioestimulantes como “substâncias, incluindo microorganismos, que são aplicadas às plantas, sementes, solo ou outros meios de cultivo que podem aumentar a capacidade da planta de assimilar nutrientes aplicados ou proporcionar benefícios ao desenvolvimento da planta. Os

bioestimulantes não são nutrientes para as plantas e, por conseguinte, não podem apresentar quaisquer alegações ou garantias nutricionais” (BIOSTIMULANT, 2013). De forma semelhante à Europa, “os bioestimulantes são derivados de fontes naturais ou biológicas e podem: aumentar o crescimento das plantas e desenvolvimento quando aplicado em pequenas quantidades; ajudam a melhorar a eficiência dos nutrientes das plantas, medidos quer pela melhoria da absorção de nutrientes quer pela redução das perdas de nutrientes para o ambiente, ou ambos; gerar alterações de solo para ajudar a melhorar a estruturação deste, função ou desempenho e, assim, melhorar a resposta da planta” (BIOSTIMULANT, 2013).

Existem diversas categorias de bioestimulantes de plantas, como: inoculantes microbiológicos, ácidos húmicos e fúlvicos, proteínas hidrolizadas, aminoácidos e algas marinhas (CALVO et al., 2014). Nesta revisão, será abordado o efeito bioestimulante de plantas proporcionados pelos ácidos orgânicos, especialmente os ácidos húmicos e fúlvicos.

### Promoção de crescimento de plantas e absorção de nutrientes

A promoção de crescimento de plantas por substâncias húmicas é bem documentada na literatura (PICCOLO et al., 1992; NARDI et al., 2002; CHEN et al., 2004; NARDI et al., 2009; CANELLAS; OLIVARES, 2014; SHEN et al., 2017). Em geral, a resposta de crescimento de monocotiledôneas às SH parece ser maior do que para dicotiledôneas, embora a base molecular e fisiológica para esta diferença permaneça obscura (CANELLAS et al., 2015). Além disso, as respostas fisiológicas das plantas às SH advindas de carvão (por exemplo, lignita e leonardita) são inferiores aos observados em resposta à adição de isolados de turfa, compostos ou vermicompostos (CANELLAS; OLIVARES, 2014). Embora esta informação seja importante para o impacto da aplicação de campo das SH, também está provado os efeitos indiretos e diretos para o crescimento da planta, independente de sua fonte.

O efeito das SH sobre o metabolismo das plantas foi resumido por Nannipieri et al. (1993) e demonstrado

por Aguiar et al. (2013) como resultado (i) da influência positiva sobre o transporte de íons facilitando a absorção; (ii) do aumento da respiração e da velocidade das sete reações enzimáticas do ciclo de Krebs, resultando em maior produção de ATP; (iii) do aumento no conteúdo de clorofila; (iv) do aumento na velocidade e síntese de ácidos nucléicos; (v) do efeito seletivo sobre a síntese protéica e (vi) do aumento ou inibição da atividade de diversas enzimas. Todavia, os alvos moleculares primariamente envolvidos nessas respostas não foram ainda elucidados.

Os ácidos húmicos (AHs) podem ser utilizados diretamente em plantas a baixas concentrações devido a seus efeitos fisiológicos bem conhecidos (NARDI et al., 2009). Esses produtos são obtidos de forma comercial a partir de fontes geológicas ou de turfa. A compostagem de resíduos é um substituto ecológico da turfa (ONWOSI et al., 2017) e é naturalmente e altamente enriquecido com substâncias húmicas biologicamente ativas (ARANCON et al., 2008).

Os efeitos das SH sobre a fisiologia vegetal incluem a promoção do crescimento radicular (NARDI et al., 2002; CANELLAS et al., 2015). A atividade do próton  $H^+$ -ATPase da membrana plasmática em células radiculares é induzida por SH isoladas de compostos agrícolas (MEDINA et al., 2015) da mesma maneira que a auxina exógena induz crescimento (QUAGGIOTTI et al., 2004; DOBBSS et al., 2010). Esta  $H^+$ -ATPase acopla a hidrólise de trifosfato de adenosina (ATP) ao transporte de  $H^+$  através das membranas celulares e o apoplasto é adicionalmente acidificado; então, as paredes celulares são “soltas” e as células eventualmente se tornam alongadas (HAGER et al., 1991), favorecendo assim um aumento no crescimento da raiz. Devido a este processo, verificou-se que a atividade da  $H^+$ -ATPase na membrana plasmática era um indicador fisiológico útil da bioatividade das SH. A fim de otimizar a produção de substâncias húmicas a partir de recursos não renováveis, precisamos saber em que momento da humificação dos resíduos orgânicos é obtido SH com alta atividade biológica. Aguiar et al. (2013) estudaram a bioatividade de ácidos húmicos isolados de vermicomposto em diferentes estágios de maturação, compreendendo um período de 120 dias de compostagem. Após 60 dias da vermicompostagem, os ácidos húmicos presentes promoveram a emissão de raízes laterais, acidificação do meio de crescimento e indução de bomba de prótons, reduzindo em 50% o tempo previsto.

As características estruturais específicas das substâncias húmicas, incluindo o seu elevado número de grupos funcionais oxigenados ( $CO_2H_2$ , OH-fenóis e C = O), permitem-lhes interagir com íons metálicos (CALVO et al., 2014). Algumas dessas interações incluem a formação de complexos de substâncias húmicas com elementos metálicos, afetando a nutrição das plantas (SCHIAVON et al., 2010; BERBARA; GARCÍA, 2014). Como as substâncias húmicas afetam a absorção de nutrientes, os íons variam dependendo do tipo e concentração da substância húmica, do pH do meio de cultura e da espécie vegetal (MUSCOLO et al., 2007; NARDI et al., 2009). Dada a capacidade das substâncias

húmicas para quelar íons e estimular o crescimento radicular não é surpreendente que um dos benefícios mais relatados dessas substâncias em plantas seja o aumento da absorção de nutrientes pelos vegetais (ONWOSI et al., 2017). O aumento da captação de Fe e P foi relatado com o uso de um produto comercial de ácido húmico em uvas (SÁNCHEZ-SÁNCHEZ et al., 2006). O aumento da captação de N, P, K, Ca e Mg foi encontrado em pimenta (CIMRIN et al., 2010), pêra (MARINO et al., 2010) e pepino (EL-NEMR et al., 2012). O aumento de nitrato foi relatado quando os ácidos húmicos foram utilizados em feijão (AYDIN et al., 2012), trigo (TAHIR et al., 2011) e pepino (MORA et al., 2010). O aumento da absorção de nutrientes após a aplicação de SH tem sido associado ao aumento do teor foliar de alguns aminoácidos, incluindo glutamato, aspartato, serina, glicina e metionina (SCHIAVON et al., 2010).

#### *Redução do estresse abiótico*

Estresse abiótico em plantas é um desvio significativo das condições ótimas para a vida da planta, e induz mudanças e respostas em todos níveis funcionais do organismo, os quais são reversíveis a princípio, mas podem se tornar permanente (TAIZ; ZEIGER, 2013), sendo os principais estresses: água, minerais, radiação, temperatura, gases e efeitos mecânicos. Os efeitos estimuladores dos ácidos húmicos têm sido demonstrados em alguns estudos para resultar numa maior tolerância ao estresse salino.

Em estudos com plantas de feijão (AYDIN et al., 2012), todas as plantas controles (sem aplicação de ácidos húmicos) crescidas com oito fontes de sal foram mortas na dose mais elevada de 120 mM, enquanto nenhuma planta morreu após tratamento ácidos húmicos a 0,05 e 0,1% p/p, com sete das fontes de sal incluindo NaCl. No mesmo estudo, os tratamentos com ácidos húmicos em solos salinos foram associados à redução da condutividade elétrica do solo e à redução do vazamento de prolina nas plantas, efeitos que estavam relacionados à tolerância das plantas às condições salinas. As aplicações conjuntas de ácidos húmicos e fósforo reduziram o estresse salino e a absorção de Na em brotos diminuiu com a absorção de doses crescentes de ácido húmico pelas raízes (CIMRIN et al., 2010). As aplicações de ácidos húmicos melhoraram os efeitos negativos da salinidade sobre o crescimento vegetativo e a floração em uma estufa de *Chrysanthemum indicum* (MAZHAR et al., 2012). Em um estudo de campo com pistache (*Pistacia vera*), o ácido húmico melhorou os efeitos negativos sobre o crescimento das plantas resultantes da irrigação com taxas baixas a moderadas de NaCl, e este efeito esteve relacionado com uma redução na acumulação de prolina e diminuição dos níveis de ácido abscísico (ABA) (MOGHADDAM; SOLEIMANI, 2012).

Além do estresse salino, outro fator abiótico que prejudica as plantas é a baixa tolerância à seca. O ácido húmico extraído do vermicomposto foi avaliado quanto aos efeitos no crescimento e na fisiologia de mudas de arroz cultivadas sob condições de déficit de água (GARCÍA et al., 2012). O aparecimento de sintomas de estresse hídrico iniciou-se aos 10 dias após a germinação

juntamente à promoção de crescimento de plântulas induzida pelo ácido húmico. Plântulas tratadas com ácido húmico aumentaram os pesos secos das raízes em comparação com os controles nas condições de estresse hídrico. Aos 25 dias após a germinação sob estresse hídrico, os níveis de clorofila, carotenóides, proteínas e carboidratos foram maiores nas plantas tratadas do que nos controles, indicando que a capacidade fotossintética das plantas estressadas pela água foi aumentada pelo ácido húmico.

Num ensaio na cultura do milho, as aplicações de ácido fúlvico sob condições de seca aumentaram a produção (ANJUM et al., 2011). Um experimento de campo no Irã com pimenta foi realizado especificamente para avaliar os efeitos do ácido fúlvico, na qualidade dos frutos, especialmente a atividade antioxidante (AMINIFARD et al., 2012). Embora o rendimento global não tenha sido avaliado, o ácido fúlvico melhorou parâmetros múltiplos da qualidade do fruto, incluindo sólidos solúveis totais, atividade antioxidante, fenólicos totais, carboidratos e carotenoides.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, N.O.; OLIVARES, F.L.; NOVOTNY, E.H.; DOBBS, L.B.; BALMORI, D.M.; SANTOS-JÚNIOR, L.G.; CHAGAS, J.G.; FAÇANHA, A.R.; CANELLAS, L.P. Bioactivity of humic acids isolated from vermicomposts at different maturation stages. *Plant and Soil*, v.362, n.1/2, p.161-174, 2013.
- AMINIFARD, M.H.; AROIEE, H.; NEMATI, H.; AZIZI, M.; JAAFAR, H.Z.E. Fulvic acid affects pepper antioxidant activity and fruit quality. *African Journal of Biotechnology*, v.11, n.68, p.13179-13185, 2012.
- ANJUM, S.A.; WANG, L.; FAROOQ, M.; XUE, L.; ALI, S. Fulvic acid application improves the maize performance under well-watered and drought conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v.197, n.6, p.409-417, 2011.
- ARANCON, N.Q.; EDWARDS, C.A.; BABENKO, A.; CANNON, J.; GALVIS, P.; METZGER, J.D. Influences of vermicomposts, produced by earthworms and microorganisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse. *Applied Soil Ecology*, v.39, n.1, p.91-99, 2008.
- ASLI, S.; NEUMANN, P.M. Rhizosphere humic acid interacts with root cell walls to reduce hydraulic conductivity and plant development. *Plant and Soil*, v.336, n.1, p.313-322, 2010.
- AYDIN, A.; KANT, C.; TURAN, M. Humic acid application alleviate salinity stress of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants decreasing membrane leakage. *African Journal of Agricultural Research*, v.7, n.7, p.1073-1086, 2012.
- BALDOTTO, M.A.; BALDOTTO, L.E.B. Humic acids. *Revista Ceres*, v.61, suplemento, p.856-881, 2014.
- BERBARA, R.L.L.; GARCÍA, A.C. Humic substances and plant defense metabolism. In: AHMAD, P.; WANI, M.R. *Physiological mechanisms and adaptation strategies in plants under changing environment*. Springer Science+Business Media: New York, 2014. p.297-319.
- BERNAL, M.P.; ALBUQUERQUE, J.A.; MORAL, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, v.100, n.2, p.5444-5453, 2009.
- BIDONE, F.R.A.; POVINELLI, J. *Conceitos básicos de resíduos sólidos*. São Carlos: EESC-USP, 1999. 109p.
- BIOSTIMULANT COALITION, 2013. *What are biostimulants?* Disponível em: <<http://www.biostimulantcoalition.org/about/>>. Acesso em: 14 mar. 2017.
- CÁCERES, R.; COROMINA, N.; MALINSKA, K.; MARFA, O. Evolution of process control parameters during extended co-composting of green waste and solid fraction of cattle slurry to obtain growing media. *Bioresource Technology*, v.179, n.1, p.396-406, 2015.
- CALVO, P.; NELSON, L.; KLOEPPER, J.W. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, v.383, n.1, p.3-41, 2014.
- CANELLAS, L.P.; OLIVARES, F.L. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, v.1, p.1-11, 2014.
- CANELLAS, L.P.; OLIVARES, F.L.; AGUIAR, N.O.; JONES, D.L.; NEBBIOSO, A.; MAZZEI, P.; PICCOLO, A. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, v.196, n.1, p.15-27, 2015.
- CARON, V.C.; GRAÇAS, J.P.; CASTRO, P.R.C. *Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos*. Série Produtor Rural, n.58. USP: Piracicaba, 2015. 48p.
- CHANG, J.I.; HSU, T.E. Effects of compositions on food waste composting. *Bioresource Technology*, v.99, n.17, p.8068-8074, 2008.
- CHEN, Y.; DE NOBILI, M.; AVIAD, T. Stimulatory effects of humic substances on plant growth. In: MAGDOFF, F.; WEIL, R.R. *Soil organic matter in sustainable agriculture*. CRC Press: Boca Raton, 2004.
- CIMRIN, K.M.; ÖNDER, T.; TURAN, M.; BURCU, T. Phosphorus and humic acid application alleviate salinity stress of pepper seedling. *African Journal of Biotechnology*, v.9, n.36, p.5845-5851, 2010.
- COTTA, J.A.O.; CARVALHO, N.L.C.; BRUM, T.S.; REZENDE, M.O.O. Composting versus vermicomposting: comparison of techniques using vegetal waste, cattle manure and sawdust. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.20, n.1, p.65-78, 2015.
- DOBBS, L.B.; CANELLAS, L.P.; OLIVARES, F.L.; AGUIAR, N.O.; AZEVEDO, M.; PERES, L.E.P.; SPACCINI, R.; PICCOLO, A.; FAÇANHA, A.R. Bioactivity of chemically transformed humic matter from vermicompost on plant root growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.58, n.6, p.3681-3688, 2010.
- EL-NEMR, M.A.; EL-DESUKI, M.; EL-BASSIONY, A.M.; FAWZY, Z.F. Response of growth and yield of cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) to different foliar applications of humic acid and biostimulators. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, v.6, n.3, p.630-637, 2012.
- EUROPEAN BIOSTIMULANTS INDUSTRY COUNCIL EBIC. 2012. Disponível em: <<http://www.biostimulants.eu/>>. Acesso em: 23 abr. 2017.
- EYHERAGUIBEL, B.; SILVESTRE, J.; MORARD, P. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. *Bioresource Technology*, v.99, n.10, p.4206-4212, 2008.
- FAN, Y.V.; LEE, C.T.; KLEMES, J.J.; CHUA, L.S.; SARMIDI, M.R.; LEOW, C.W. Evaluation of effective microorganisms on home scale organic waste composting. *Journal of Environmental Management*, p.1-8, 2017.
- GARCÍA, A.C.; BERBARA, R.L.L.; FARÍAS, L.P.; IZQUIERDO, F.G.; HERNÁNDEZ, O.L.; CAMPOS, R.H.; CASTRO, R.N. Humic acids of vermicompost as an ecological pathway to increase resistance of rice seedlings to water stress. *African Journal of Biotechnology*, v.11, n.13, p.3125-3134, 2012.
- GUIDONI, L.L.C.; BITTENCOURT, G.; MARQUES, R.V.; CORRÊA, L.B.; CORRÊA, E.K. Compostagem domiciliar: implantação e avaliação do processo. *Tecno-Lógica*, v.17, n.1, p.44-51, 2013.
- HAGER, A.; DEBUS, G.; EDEL, G.; STRANSKY, H.; SERRANO, R. Auxin induces exocytosis and the rapid synthesis of a high turnover pool of plasma-membrane H<sup>+</sup>-ATPase. *Planta*, v.185, p.527-537, 1991.
- HECK, K.; DE MARCO, E.G.; HAHN, A.B.B.; KLUGE, M.; SPILKI, F.R.; VAN DER SAND, S.T. Evaluation of degradation temperature of compounds in a composting process and microbiological quality of the compost. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.1, p.54-59, 2013.
- HERBETS, R.A.; COELHO, C.R.A.; MILETTI, L.C.; MENDONÇA, M.M. Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: aspectos biotecnológicos. *Health and Environment Journal*, v.6, n.1, p.41-50, 2005.
- INÁCIO, C.T.; MILLER, P.R.M. *Compostagem: ciência prática para a gestão de resíduos orgânicos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 154p.
- KIEHL, E.J. *Fertilizantes orgânicos*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1985. 492p.
- KIEHL, E.J. *Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto*. 4.ed. Piracicaba, 2004.

- LIM, S.L.; LEE, L.H.; WU, T.Y. Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. **Journal of Cleaner Production**, v.111, n.1, p.262-278, 2016.
- LÓPEZ-GONZÁLEZ, J.A.; LÓPEZ, M.J.; VARGAS-GARCÍA, M.C.; SUÁREZ-ESTRELLA, F.; JURADO, M.; MORENO, J. Tracking organic matter and microbiota dynamics during the stages of lignocellulosic waste composting. **Bioresource Technology**, v.146, p.574-584, 2013.
- MARINO, G.; CELLINI, A.; MASIA, A.; SIMONI, A.; FRANCIOSO, O.; GESSA, C. *In vitro* treatment with a low molecular weight humic acid can improve growth and mineral uptake of pear plantlets during acclimatization. **Acta Horticulturae**, v.884, p.565-572, 2010.
- MARKETS AND MARKETS, 2017. Top 10 trends in agricultural biologicals market industry (biopesticides, biostimulants, biofertilizers, agricultural inoculants, agricultural microbials, and biological seed treatment) - Global Forecast to 2022. Disponível em: <<http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/top-10-trend-agricultural-biological-market-139215554.html>>. Acesso em: 13 jan. 2017.
- MAZHAR, A.A.M.; SHEDEED, S.I.; ABDEL-AZIZ, N.G.; MAHGHOUB, M.H. Growth, flowering and chemical constituents of *Chrysanthemum indicum* L. plant in response to different levels of humic acid and salinity. **Journal of Applied Sciences Research**, v.8, n.7, p.3697-3706, 2012.
- MEDINA, J.; MONREAL, C.; BAREA, J.M.; ARRIAGADA, C.; BORIE, F.; CORNEJO, P. Crop residue stabilization and application to agricultural and degraded soils: A review. **Waste Management**, v.42, p.41-54, 2015.
- MISRA, R.V.; ROY, R.N.; HIRAOKA, H. **On-farm composting methods**. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 2003. p.1-35.
- MOGHADDAM, A.R.L.; SOLEIMANI, A. Compensatory effects of humic acid on physiological characteristics of pistachio seedlings under salinity stress. **Acta Horticulturae**, v.940, p.252-255, 2012.
- MORA, V.; BACAICOA, E.; ZAMARREÑO, A.M.; AGUIRRE, E.; GARNICA, M.; FUENTES, M.; GARCÍA-MINA, J.M. Action of humic acid on promotion of cucumber shoot growth involves nitrate-related changes associated with the root-to-shoot distribution of cytokinins, polyamines and mineral nutrients. **Journal of Plant Physiology**, v.167, p.633-642, 2010.
- MUSCOLO, A.; SIDARI, M.; FRANCIOSO, O.; TUGNOLI, V.; NARDI, S. The auxin-like activity of humic substances is related to membrane interactions in carrot cell cultures. **Journal of Chemical Ecology**, v.33, n.1, p.115-129, 2007.
- NAEGELE, A.; REBOUX, G.; VACHEYROU, M.; VALOT, B.; MILLON, L.; ROUSSEL, S. Microbiological consequences of indoor composting. **Indoor Air**, v.26, p.605-613, 2016.
- NARDI, S.; PIZZEGHELLO, D.; MUSCOLO, A.; VIANELLO, A. Physiological effects of humic substances on higher plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v.34, n.11, p.1527-1536, 2002.
- NARDI, S.; CARLETTI, P.; PIZZEGHELLO, D.; MUSCOLO, A. Biological activities of humic substances. In: SENI, N.; XING, B.; HUANG, P.M. **Biophysico-chemical processes involving natural nonliving organic matter in environmental systems**. John Wiley & Sons: New York, 2009. p.305-340.
- ONWOSI, C.O.; IGBOKWE, V.C.; ODIMBA, J.N.; EKE, I.E.; NWANKWOALA, M.O.; IROH, I.N.; EZEUGU, L.I. Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects. **Journal of Environmental Management**, v.190, n.1, p.140-157, 2017.
- PEREIRA, D.S.; GOMES, R.C.; SEMÊDO, L.T.A.S. Actinobacteria potential in hydrocarbon biodegradation. **Revista Eletrônica TECCEN**, v.5, n.2, p.71-96, 2012.
- PICCOLO, A. The supramolecular structure of humic substances. A novel understanding of humus chemistry and implications in soil science. **Advances in Agronomy**, v.75, p.57-134, 2002.
- PICCOLO, A. **The nature of soil organic matter and innovative soil management to fight global changes and maintain agricultural productivity**. Springer: Heidelberg, 2012. p.1-20.
- PICCOLO, A.; NARDI, S.; CONCHERI, G. Structural characteristics of humic substances as related to nitrate uptake and growth regulation in plant systems. **Soil Biology and Biochemistry**, v.24, n.4, p.373-380, 1992.
- POPULATION REFERENCE BUREAU. **Annual Report**. Washington: USA, 2011.
- QUAGGIOTTI, S.; RUPERTI, B.; PIZZEGHELLO, D.; FRANCIOSO, O.; TUGNOLI, V.; NARDI, S. Effect of low molecular size humic substances on nitrate uptake and expression of genes involved in nitrate transport in maize (*Zea mays* L.). **Journal of Experimental Botany**, v.55, n.398, p.803-813, 2004.
- REBOLLIDO, R.; MARTÍNEZ, J.; AGUILERA, Y.; MELCHOR, K.; KOERNER, I.; STEGMANN, R. Microbial populations during composting process of organic fraction of municipal solid waste. **Applied Ecology and Environmental Research**, v.6, n.3, p.61-67, 2008.
- SÁNCHEZ-SÁNCHEZ, A.; SÁNCHEZ-ANDREU, J.; JUÁREZ, M.; JORDÁ, J.; BERMÚDEZ, D. Improvement of iron uptake in table grape by addition of humic substances. **Journal of Plant Nutrition**, v.29, n.2, p.259-272, 2006.
- SCHIAVON, M.; PIZZEGHELLO, D.; MUSCOLO, A.; VACCORO, S.; FRANCIOSO, O.; NARDI, S. High molecular size humic substances enhance phenylpropanoid metabolism in maize (*Zea mays* L.). **Journal of Chemical Ecology**, v.36, n.6, p.662-669, 2010.
- SENESI, N.; PLAZA, C. Role of humification processes in recycling organic wastes of various nature and sources as soil amendments. **Clean - Air, Soil, Water**, v.35, n.1, p.26-41, 2007.
- SHEN, H.; SHEN, J.Z.; LI, Y.; LAI, Y.L.; JIA, Z.H.; YI, J.H. Promotion of lateral root growth and leaf quality of flue-cured tobacco by the combined application of humic acids and NPK chemical fertilizers. **Explanation Agriculture**, v.53, n.1, p.59-70, 2017.
- SIERRA J., DESFONTAINES, L.; FAVERIAL, J.; LORANGER-MERCIRIS, G.; BOVAL, M. Composting and vermicomposting of cattle manure and green wastes under tropical conditions: carbon and nutrient balances and end-product quality. **Soil Research**, v.51, p.142-151, 2013.
- SILVA, M.A.; MARTINS, E.S.; AMARAL, W.K.; SILVA, H.S.; MARTINES, E.A.L. Compostagem: experimentação problematizadora e recurso interdisciplinar no ensino de química. **Química Nova na Escola**, v.37, n.1, p.71-81, 2015.
- SIMPSON, A.J.; KINGERY, W.L.; HAYES, M.H.; SPRAUL, M.; HUMPFER, E.; DVORTSAK, P.; KERSSEBAUM, R.; GODEJOHANN, M.; HOFMANN, M. Molecular structures and associations of humic substances in the terrestrial environment. **Naturwissenschaften**, v.89, n.2, p.84-88, 2002.
- TAHIR, M.M.; KHURSHID, M.; KHAN, M.Z.; ABBASI, M.K.; HAZMI, M.H. Lignite-derived humic acid effect on growth of wheat plants in different soils. **Pedosphere**, v.21, n.1, p.124-131, 2011.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artemed, 2013. 954p.
- TEJADA, M.; GARCIA-MARTINEZ, A.M.; PARRADO, J. Effects of a vermicompost composted with beet vinasse on soil properties, soil losses and soil restoration. **Catena**, v.77, p.238-247, 2009.
- TITTONELL, P. Ecological intensification of agriculture - sustainably by nature. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v.8, p.53-61, 2014.
- TUOMELA, M.; VIKMAN, M.; HATAKKA, A.; ITÄVAARA, M. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. **Bioresource Technology**, v.72, p.169-183, 2000.
- VALENTE, B.S.; XAVIER, E.G.; MORSELLI, T.B.G.A.; JAHNKE, D.S.; BRUM JR, B.S.; CABRERA, B.R.; MORAES, P.O.; LOPES, D.C.N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, v.58, p.59-85, 2009.
- VARANINI, Z.; PINTON, R. Direct versus indirect effects of soil humic substances on plant growth and nutrition. In: PINTON, R.; VARANINI, Z.; NANNIPIERI, P. **The rhizosphere**. Marcel Dekker: Basel, 2001. p.141-158.
- WU, T.Y.; LIM, S.L.; LIM, P.N.; SHAK, K.P.Y. Biotransformation of biodegradable solid wastes into organic fertilizers using composting or/and vermicomposting. **Chemical Engineering Transactions**, v.39, n.1, p.1579-1584, 2014.