

Os compostos no controlo de doenças das plantas

Control of plant diseases with composts

Mário Reis

*Departamento de Ciências Biológicas e Bioengenharia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, Edifício 8, 8005-139 Faro, Portugal
(E-mail: mreis@ualg.pt)
<http://dx.doi.org/10.19084/RCA15111>*

Recebido/received: 2015.01.30

Recebido em versão revista/received in revised form: 2015.09.11

Aceite/accepted: 2015.09.14

Resumo

A compostagem permite obter produtos, designados compostados ou compostos, que, em alguns casos, apresentam a capacidade de reduzir ou eliminar doenças das plantas com origem no solo – capacidade supressiva ou supressividade – o que lhes confere um interesse acrescido ao de fertilizantes agrícolas, objectivo com que habitualmente se empregam. Neste trabalho, após breve descrição da compostagem, são referidos os mecanismos de supressividade, as condições para a obtenção de compostos supressivos, os métodos de quantificação da supressividade e referem-se alguns exemplos de compostos com capacidade supressiva. O conhecimento sobre a capacidade supressiva dos compostos é ainda uma área de estudo com grande carência de conhecimento, mas que apresenta um enorme interesse, na perspectiva de procurar melhorar a sustentabilidade da produção agrícola e reduzir o seu impacte ambiental.

Palavras-chave: antagonistas, compostagem, controlo biológico

Abstract

Composts, obtained through the biological process of composting, frequently show the capacity to reduce or eliminate plant diseases – suppressivity or suppressive capacity - increasing the interest for its use in agriculture. After a short characterisation of the composting process, the mechanisms of suppressivity are discussed, as well as the conditions to obtain suppressive composts and the methods to determine and quantify the suppressive capacity. Some suppressive composts, used as substrate components or soil amendments, are mentioned. More research on suppressivity is needed, due to the high potential for the use of composts towards a more environmental friendly and sustainable agriculture.

Keywords: antagonists, biological control, composting, soil diseases

INTRODUÇÃO

A compostagem é um processo biológico de transformação de resíduos orgânicos pelo qual se obtêm produtos, designados compostados ou compostos, que podem ser empregues como correctivos orgânicos, fertilizantes ou componentes de substratos hortícolas. A aplicação de compostos ao solo ou na formulação de substratos hortícolas, pode reduzir a ocorrência de algumas doenças das plantas com

origem no solo, bem como de doenças da parte aérea. Contudo, ocorrem por vezes resultados ambíguos ou contraditórios, em consequência da diversidade de condições de obtenção e emprego dos compostos, e da complexidade dos processos de controlo dos microrganismos fitopatogénicos.

OS COMPOSTOS: OBTENÇÃO E CARACTERÍSTICAS

Composto é um produto estabilizado e higienizado, benéfico para o crescimento das plantas, resultante de compostagem (Zucconi e Bertoldi, 1987). A compostagem é um processo biológico controlado, no qual microrganismos atacam a matéria orgânica, obtendo energia e nutrientes para a sua actividade, sendo o produto final – o composto ou compostado - constituído pelas fracções mais resistentes da matéria orgânica, pelos produtos da sua decomposição, por produtos sintetizados pelos microrganismos durante o processo, e ainda por organismos, vivos e mortos. Tipicamente, a compostagem desenrola-se em três fases: a inicial ou mesofílica, que dura normalmente poucos dias, durante a qual a temperatura sobe a 40 - 50°C, o pH baixa e são metabolizados os componentes mais biodegradáveis da matéria orgânica; a intermédia ou termofílica, que dura de poucas semanas a alguns meses, a temperatura atinge 70°C ou mais, o pH sobe, os microrganismos termofílicos degradam a matéria orgânica até esgotar a fracção mais facilmente degradável; e a fase de estabilização ou maturação, durante a qual se reduz a actividade microbiana, a temperatura diminui até à temperatura ambiente e os microrganismos mesofílicos recolonizam o meio (Zucconi e Bertoldi, 1987).

Durante a compostagem aumenta a estabilidade física e química da matéria orgânica remanescente; são inviabilizadas sementes de infestantes e patogenios, e criadas condições desfavoráveis à actividade de outros; reduz-se a quantidade de produtos químicos indesejáveis e melhora a facilidade de manuseamento do material (Daft *et al.*, 1979; Spencer e Benson, 1982). A qualidade do composto é quantificável através de variáveis físicas, químicas e biológicas, e de índices específicos (Inbar *et al.*, 1993).

O CONCEITO DE SUPRESSIVIDADE

Solos supressivos e solos condutivos

Baker e Cook (1974) definiram solos supressivos como aqueles onde “um patogenio não se consegue estabelecer ou persistir; consegue-se estabelecer mas causa poucos ou nenhuns danos; ou estabelece-se e causa danos, mas com importância decrescente, apesar de se manter no solo”. Ferraz (1992) considera supressivos, os solos “capazes de reduzir

ou eliminar doenças com origem no solo, mesmo na presença de elevada quantidade de inóculo”. Em oposição, os solos onde pequena quantidade de inóculo é suficiente para a manifestação da doença designam-se solos condutivos ou permissivos (Borges e Jorge-Silva, 1992), existindo uma gama de comportamentos intermédios. A capacidade supressiva dos solos foi assinalada há mais de 100 anos (Ferraz, 1992), mas só mais tarde se associou o controlo das doenças do solo à presença de outros microrganismos no solo, e se assumiu ser possível actuar sobre o grau de controlo biológico por modificação das práticas culturais (Sanford, 1926). Assim, embora a capacidade supressiva de um solo esteja associada às suas propriedades (Persson e Olsson, 2000), pode ser melhorada de modo a conseguir-se o controlo biológico das doenças com origem no solo (Alabouvette, 1999), através da infestação do solo com microrganismos específicos – antagonistas - e de práticas culturais tendentes a melhorar a supressividade natural dos solos (Sturz *et al.*, 1997; Bailey e Lazarovits, 2003), tais como a incorporação de materiais orgânicos no solo (Cook, 1993), sobretudo compostos. A acção supressiva de alguns compostos manifesta-se também quando utilizados como componentes de substratos. Algumas doenças da parte aérea podem ser controladas pela acção da microflora do solo (Kloepper *et al.*, 1999; Segarra *et al.*, 2009).

Mecanismos de supressividade

O controlo de doenças com origem no solo, conseguido pela aplicação de compostos, é em parte associado às suas propriedades químicas, como a presença de toxinas alelopáticas, nutrientes (e.g.: azoto, ferro e fósforo), relação carbono/ azoto, pH e salinidade. Com a progressiva mineralização dos compostos, a importância destes inibidores químicos parece decrescer, aumentando o papel dos microrganismos na capacidade supressiva exercida pelo composto (Lootsma e Scholte, 1997), os quais obtêm a energia que necessitam da matéria orgânica do composto, da matéria orgânica solo e da disponibilizada através dos exsudados radiculares (Shiomi *et al.*, 1999).

Os componentes da tripla interacção: hospedeiro - parasita - população microbiana, são afectados por factores ambientais (Park, 1963), e no caso dos parasitas da raiz, pela presença e actividade dos microrganismos do solo, onde se destacam bactérias,

actinomicetas, protozoários, nemátodos, fungos e oomicetas. Por simplificação, neste trabalho referimos os oomicetas como fungos (reino Fungi) apesar de serem incluídos actualmente no reino *Chromista* (e.g.: géneros *Phytophthora*, *Olpidium*, *Plasmopara*) (Ferreira, 2008). Os fungos assumem importância particular devido ao elevado número de doenças que podem causar nas plantas. Do ponto de vista ecológico, Garrett (1956) classificou os fungos em dois grandes grupos: os habitantes do solo e os habitantes das raízes, ambos com espécies com capacidade de provocar doenças nas plantas (Figura 1).

Os fungos habitantes do solo têm uma distribuição generalizada nos solos, onde podem viver indefinidamente como saprófitas (e.g.: *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Trichoderma* spp.), ou ter uma existência parasítica (e.g.: *Rizoctonia solani*, *Fusarium culmorum*, *Pythium* spp., *Phytophthora* spp.), infectando raízes e causando doenças em inúmeros hospedeiros, fazendo com que as suas populações se mantenham relativamente estáveis, independentemente da presença do hospedeiro (Ferraz, 1985).

Pelo contrário, os fungos habitantes das raízes apresentam uma fase parasítica, em expansão, na presença do hospedeiro, e uma fase saprofítica, em declínio, nos tecidos mortos do hospedeiro. Entre os fungos habitantes das raízes, incluem-se espécies com fraca ou nenhuma capacidade de sobrevivência como saprófitas na ausência do hospedeiro, embora sobrevivam no solo sob a forma de estruturas de resistência (e.g.: *F. oxysporum*, *Verticillium* spp.). Os fungos parasitas das raízes são mais sensíveis aos antibióticos produzidos pelos microrganismos do solo, só se desenvolvem no solo a partir de um

substrato, invadem somente tecidos vivos ou senescentes e possuem uma distribuição localizada devido à sua associação com o hospedeiro. Além destas características biológicas, outras, como o seu inoculo potencial e a capacidade de sobrevivência, são determinantes para a sua capacidade de provocar doenças nas plantas (Ferraz, 1985).

A influência dos microrganismos do solo sobre a actividade e sobrevivência dos microrganismos patogénicos pode-se exercer através de: competição por nutrientes, oxigénio ou pontos de invasão do hospedeiro; antibiose; microbiostase; produção de compostos capazes de anular substâncias tóxicas; hiperparasitismo; predação; hipovirulência e pelo estímulo de mecanismos de resistência do hospedeiro (Garrett, 1970; Maurhofer *et al.*, 1994; Lugtenberg e Kamilova, 2009).

A interacção entre o meio e os microrganismos, e entre microrganismos, permite distinguir dois tipos de supressividade: a "geral" e a "específica" (Baker e Cook, 1974). A "supressividade geral" resulta da actividade de diferentes espécies de microrganismos que, ao competirem, limitam a disponibilidade de recursos para os patogenios. Sendo os microrganismos fitopatogénicos do solo caracterizados normalmente por uma reduzida capacidade de competição saprofítica (excepto os fungos habitantes do solo não especializados), a sua actividade é determinada pela microflora do solo. Os propágulos dos patogenios controlados pelo mecanismo de supressividade geral não se reduzem rapidamente num meio supressivo, são pequenos (menos de 200 µm de diâmetro), não armazenam muitos nutrientes e dependem da disponibilidade de fontes de carbono para a germinação

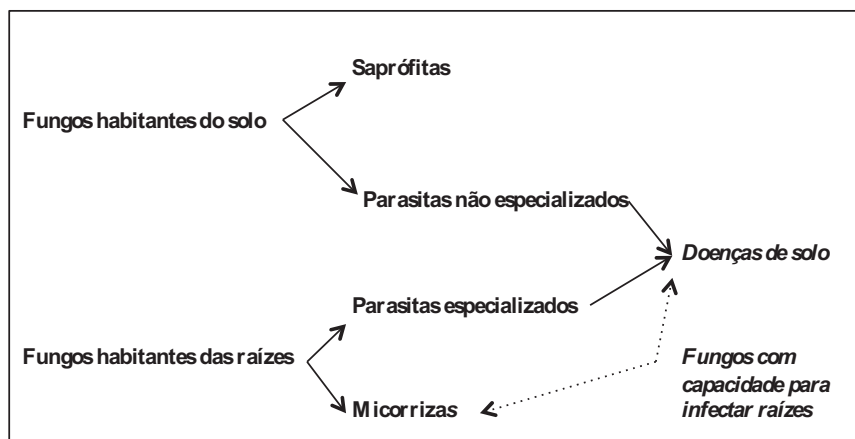


Figura 1 - Classificação dos fungos do solo segundo Garrett (1956)

e infecção (Chen *et al.*, 1988a,b; Nelson, 1990), como por exemplo *Pythium* e *Phytophthora* spp. (Hardy e Sivasithamparam, 1991a,b; Boehm *et al.*, 1993). A eficácia dos microrganismos no controlo biológico dos patogénios, dependendo da disponibilidade de energia na matéria orgânica, pode ser a razão para a variabilidade observada na eficácia do controlo de *Pythium* (Boehm *et al.*, 1993).

Na "supressividade específica" o controlo dos patógenos resulta da acção de um ou de poucos organismos – designados antagonistas – como sucede relativamente a *R. solani* e *Sclerotium rolsfii*, que podem ser parasitados por hiperparasitas específicos como *Gliocladium virens* (Lewis *et al.*, 1995), espécies binucleadas de *Rhizoctonia* (Villajuanabgona *et al.*, 1996) ou *Pseudomonas fluorescens* (Couillerot *et al.*, 2009). A inibição de *Fusarium oxysporum* f. sp. *basilica* é conseguida por *Glomus mosseae* (Toussaint *et al.*, 2008). *F. oxysporum* f. sp. *dianthi* e *F. o.* f. sp. *lycopersici* são inibidos por *Trichoderma asperellum* (Cotxarrera *et al.*, 2002; Sant *et al.*, 2010), embora a germinação dos clamidósporos de *F. o.* f. sp. *lycopersici* seja relacionada também com o pH do meio (Shiau *et al.*, 1994). A produção, por alguns microrganismos, de antibióticos (Hill *et al.*, 1994; Pal e McSpadden Gardener, 2006; Zaccardelli *et al.*, 2013) ou enzimas (Punja e Zhang, 1993; McSpadden Gardener *et al.*, 2005) são outros processos de "supressividade específica", bem como a indução de resistência sistémica (Larkin *et al.*, 1996). A acção supressiva sobre um dado patogénico pode-se exercer com maior eficácia pela combinação de várias daquelas acções (Duijff *et al.*, 1993).

Relacionando a classificação dos fungos do solo de Garrett (1956) e os tipos de supressividade enunciados por Baker e Cook (1974), observa-se que os fungos habitantes do solo são controlados segundo o mecanismo de 'supressividade geral' (Figura 2).

Sendo os fungos fitopatogénicos habitantes do solo de ocorrência frequente e com elevada capacidade saprofítica (e.g.: *Pythium* spp., *Phytophthora* spp.), são controlados através da competição imposta pelas activas e diversificadas populações microbianas introduzidas pela aplicação de composto estabilizado, onde existem fontes alimentares limitadas. Contudo, alguns dos fungos habitantes do solo – os não especializados – que apresentam volumosas estruturas de resistência (e.g.: *R. solani* e *S. rolsfii*) só são controlados pelo mecanismo de supressividade específica, tal como os fungos habitantes das raízes (e.g.: *F. oxysporum* e *Verticillium* spp.) (Ferraz, 1985).

Em síntese, a "supressividade geral" está relacionada com a biomassa total de microrganismos do solo, e não apenas com uma única espécie, que compete com o patógeno, e é estimulada por acções que promovam a actividade microbiológica no solo, como a adição de matéria orgânica ou certas práticas culturais. A "supressividade específica" caracteriza-se pela sua fácil transferência, pois os responsáveis, pelo menos em parte, são espécies ou grupos determinados de microrganismos. Contudo, os solos supressivos devem normamente esta característica à combinação dos processos de supressividade "geral" e "específica" (Weller *et al.*, 2002).

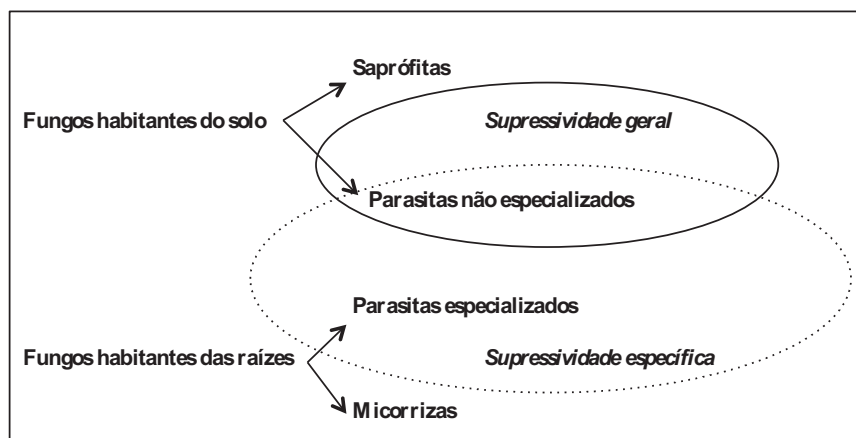


Figura 2 - Relação da classificação dos fungos do solo proposta por Garrett (1956) e dos tipos de supressividade enunciados por Baker e Cook (1974).

OS COMPOSTOS COMO AGENTES DE SUPRESSIVIDADE

Condições para a obtenção de compostos supressivos

Desde que, em meados do séc. XX, se observou capacidade supressiva em compostos (Howard, 1945), vários destes produtos, principalmente compostos de casca de árvores, têm sido usados com sucesso no controlo de doenças com origem no solo (Hoitink, 2001; Bailey e Lazarovits, 2003). A capacidade supressiva manifesta-se nos compostos (Nelson e Hoitink, 1983; Chen e Hadar, 1987), embora por vezes a compostagem não aumente essa capacidade (Volland e Epstein, 1994) ou elimine as causas inibidoras dos microrganismos fitopatogénicos (Nelson e Hoitink, 1982). Na prática, a supressividade induzida pelos compostos depende de vários factores, nomeadamente: a interacção agente patogénico - hospedeiro - microrganismos (na rizosfera e no composto), e as características físicas e químicas e disponibilidade de nutrientes do meio (Hoitink *et al.*, 1993).

Hoitink *et al.* (1993) indica como condições para o sucesso no uso de compostos no controlo biológico de doenças do solo: (i) a morte dos organismos patogénicos durante a compostagem, (ii) a presença de uma activa população de microrganismos benéficos no composto, (iii) a estabilização adequada da matéria orgânica e (iv) as características físicas e químicas do composto.

Morte dos organismos patogénicos durante a compostagem

A maioria dos patógenos são sensíveis às condições ambientais durante a compostagem, podendo os compostos ser utilizados com segurança, à excepção dos obtidos com material infectado com alguns vírus, como TMV e TNV. A inactivação dos patógenos na compostagem – o que pode explicar a não manifestação de doença ao empregar os compostos (Hoitink *et al.*, 1975) - resulta da elevação da temperatura, da acção de produtos tóxicos libertados durante a decomposição da matéria orgânica (e.g.: etanol, formaldeído e amoníaco) e de processos de antagonismo, actuando sucessivamente ou em simultâneo (Berestetsky e Kravchenko, 1984; Bollen, 1993).

A resistência dos patógenos à elevada temperatura atingida durante a compostagem depende de factores como a densidade da população e a humidade

do material. Poucos fungos permanecem activos quando a temperatura ultrapassa 70°C (Hartmann *et al.*, 1990), estando a inactivação dos mais resistentes associada à humidade (Bollen, 1993) e ao pH do material (Ylimäki *et al.*, 1983).

Embora muitas espécies de fungos sejam eliminadas durante a compostagem, algumas podem resistir (Bollen, 1993). No caso dos vírus, mesmo que estes não sejam destruídos mas apenas os seus vectores, isto pode ser o suficiente para a utilização segura dos compostos, se no local em que o composto vai ser utilizado os vectores não existirem. Se os vectores dos vírus forem nemátodos, a infecção do composto não ocorre pois as espécies transmissoras de vírus alimentam-se apenas a partir de plantas vivas e não do composto; se forem fungos produtores de zoósporos, a possibilidade de transmissão depende do processo de transmissão, por exemplo, é possível com fungos do género *Olpidium* e pouco provável nos do género *Polymyxa* (Bollen, 1993). Os nemátodos são bastante sensíveis à temperatura, sendo destruídos a temperatura abaixo de 50 oC (Hartmann e Kester, 1990). A maioria das bactérias não sobrevive às condições normais da compostagem, excepto as bactérias produtoras de esporos, cuja destruição exige temperatura superior a 70 oC (Hartmann e Kester, 1990).

PRESENÇA DE UMA ACTIVA POPULAÇÃO MICROBIANA DE ORGANISMOS BENÉFICOS

Competição e antagonismo são processos importantes para o controlo dos patógenos durante a compostagem (Bertoldi *et al.*, 1991), embora alguns autores atribuam ao antagonismo um papel pouco relevante (Bollen, 1993). Contudo, a exposição a alta temperatura e a produtos tóxicos pode enfraquecer os patógenos, tornando-os mais sensíveis ao antagonismo que se estabelece após a fase termofílica da compostagem (Yuen e Raabe, 1984). A indução de um nível consistente de supressividade no composto implica a recolonização por organismos mesófilos após a fase termofílica. No final da compostagem, procura-se a recolonização natural do meio pela maior diversidade possível de mesófilos, ou combinar este objectivo com a introdução de microrganismos antagonistas seleccionados (Hoitink, 1987; Sivapalan *et al.*, 1994). No entanto, "presença" de microrganismos benéficos não pressupõe "eficácia", podendo uma menor população

ser mais eficaz no controlo dos patogénios que uma maior população de outra espécie (Nelson e Hoitink, 1983; Nelson *et al.*, 1983).

Se a capacidade supressiva de um composto tiver sido eliminada por acção térmica, pode ser restaurada através da mistura de uma pequena quantidade de composto não tratado termicamente (Westphal e Becker, 2000) ou através da infestação com microrganismos específicos, como *Trichoderma hamatum* e *Flavobacterium balustinum* (Trillas-Gay *et al.*, 1986). A manutenção do efeito supressivo é apenas possível nos meios com suficiente capacidade de suporte da actividade microbiológica e reservas de polissacáridos (Chen *et al.*, 1988a, b; Hoitink *et al.*, 1993), o que pode ocorrer não apenas num solo mas também no cultivo sem solo, por exemplo em lâ-de-rocha (Tu *et al.*, 1999).

ESTABILIZAÇÃO ADEQUADA DA MATÉRIA ORGÂNICA

O grau de decomposição da matéria orgânica determina a actividade da microflora benéfica e o inóculo potencial dos patogénios. A matéria orgânica fresca pode servir de fonte alimentar aos patogénios e aumentar o seu inóculo potencial (Garrett, 1962; Hoitink, *et al.*, 1993).

Um aspecto muito importante na redução de bactérias e fungos patogénicos em compostos, é o facto de estes microrganismos normalmente apenas conseguirem utilizar produtos facilmente assimiláveis (e.g.: álcoois simples, ácidos orgânicos ou açúcares), não se multiplicando em meios apenas com celulose, lenhina ou substâncias húmicas. Após a compostagem, quando o compostado se encontra enriquecido em celulose, lenhina e substâncias húmicas, e pobre em matéria orgânica facilmente degradável, as bactérias e fungos fitopatogénicos ficam em desvantagem perante os microrganismos saprófitas.

Além disso, a população total de microrganismos é numerosa relativamente à dos patogénios, gerando um elevado grau de antagonismo, o que associado à grande competição trófica coloca os patogénios em desvantagem (Bertoldi *et al.*, 1991).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO COMPOSTO EMPREGUE

As características dos compostos afectam a susceptibilidade das plantas aos patogénios, e a actividade destes e dos antagonistas (Score e Palfreyman, 1994) observando-se, por exemplo, diferenças de capacidade supressiva, no solo e *in vitro*, em consequência da variação do pH do meio (Trillas-Gay *et al.*, 1986; Shiau *et al.*, 1994; Borrero *et al.*, 2004).

Os compostos que libertam muito azoto contribuem para o aumento da manifestação de fusarioses (Hoitink *et al.*, 1997), enquanto que a sua deficiência em azoto as pode reduzir, desde que o composto esteja adequadamente colonizado (Trillas-Gay *et al.*, 1986). Compostos com salinidade elevada acentuam a manifestação de *Pythium* e de *Phytophthora* (Hoitink *et al.*, 2001). A aplicação de doses elevadas de fertilizantes ao composto, particularmente azoto e fósforo, pode controlar o desenvolvimento de *Phoma chrysanthemicola* em crisântemo (Menzies e Colhoum, 1976). O potencial matricial no meio afecta o desenvolvimento microbiano, nomeadamente a formação de esporângios e a libertação de zoósporos e outras estruturas reprodutivas (Spencer e Benson, 1982). Um baixo potencial de água estimula o crescimento de muitos patogénios (Lootsma e Scholte, 1997), mas noutros casos, um maior teor de humidade, permite o desenvolvimento de uma maior população de bactérias antagonistas (Clulow *et al.*, 1995).

Em 17 compostos de vários resíduos agro-industriais, Suárez-Estrella *et al.* (2012) observaram maior efeito supressivo quando o pH era próximo do neutro, a condutividade eléctrica inferior a 3 dS m⁻¹ e a matéria orgânica superior a 85%.

Previsão e quantificação da capacidade supressiva

De um modo previsível, é possível usar práticas de controlo biológico recorrendo a compostos, sobretudo no cultivo sem solo em substratos (Hoitink *et al.*, 1993). Contudo, é indispensável um conhecimento preciso das características dos compostos, nomeadamente do grau de estabilidade da matéria orgânica, salinidade e disponibilidade de azoto, sob pena de se obterem resultados muito diversos.

Para quantificar o efeito de "supressividade geral" utilizam-se técnicas que permitem determinar a absorção de nutrientes pelos microrganismos do

solo, a sua actividade ou a sua biomassa (Chen *et al.*, 1988b). Estas determinações permitiram obter métodos para testar a supressividade natural (Chen *et al.*, 1988a; Inbar *et al.*, 1991) e a criação de directivas para a formulação de substratos supressivos (Chen *et al.*, 1988b). Relacionando o conhecimento sobre as substâncias absorvidas pelos microrganismos com o das populações de determinados microrganismos, pode-se determinar o potencial supressivo de um composto.

Compostos com capacidade supressiva

A partir dos anos 60 do séc. XX utilizaram-se com êxito compostos de casca de árvores na preparação de substratos hortícolas, obtendo-se melhores resultados de cultivo que os, até aí, conseguidos com as tradicionais misturas à base de turfa, esterilizada ou não (Daft *et al.*, 1979), e registando-se em alguns casos, uma menor incidência de doenças de solo (Hoitink *et al.*, 1975; Nelson e Hoitink, 1982). No entanto, a origem da casca e as condições de compostagem determinam a capacidade supressiva do composto, pelo que esta pode variar com o lote do produto (Daft *et al.*, 1979), o que justifica um elevado rigor na preparação dos compostos para conseguir manter uma aceitável homogeneidade dos produtos finais.

Outros resíduos têm sido empregues com sucesso na preparação de compostos supressivos, destacando-se a casca de algumas espécies de eucalipto (Handreck e Black, 1991), bagaços de uva e de cana-do-açúcar, laranjas de refugo, resíduos da produção de cogumelos e da manutenção dos espaços verdes (Chen e Hadar, 1987; Martinez, 1989; Theodore e Toribio, 1995; Nakasaki *et al.*, 1998; Szczech *et al.*, 1997; Coelho e Reis, 2011; Suárez-Estrella *et al.*, 2012), resíduos sólidos urbanos, produtos de vermicultura (Kuter *et al.*, 1988; Szczech, 1999) e resíduos da pecuária (Martinez, 1989).

A utilização de compostos no cultivo das plantas pode, por isso, contribuir para a sustentabilidade da actividade humana, permitindo reciclar através da agricultura resíduos de origem diversa, com benefícios económicos e ambientais, sobretudo pela redução do consumo de outros fertilizantes e de produtos fitossanitários.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor José P. F. Ferraz e ao Professor Doutor António A. Monteiro pelo seu apoio na elaboração deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alabouvette, C. (1999) - *Fusarium* wilt suppressive soils: an example of disease-suppressive soils. *Australasian Plant Pathology*, vol. 28, n. 1, p. 57-64. <http://dx.doi.org/10.1071/AP99008>
- Bailey, K.L. e Lazarovits, G. (2003) - Soil agroecosystems: impacts of management on soil health and crop diseases. *Soil and Tillage Research*, vol. 72, n. 2, p. 169-180. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00086-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00086-2)
- Baker, K.F. e Cook, R.J. (1974) - *Biological Control of Plant Pathogens*. St. Paul, Minnesota, American Phytopathological Society, 433 p.
- Berestetsky, O.A. e Kravchenko, L.V. (1984) - Volatile products of plant residue decomposition and their effect on soil microflora. In: J. Szegi (Ed.) - *Soil Biology and Conservation of the Biosphere*, Vol. 1. Budapeste, Akadémiai Kaidó, p. 419-425.
- Bertoldi, M. de; Zucconi, F. e Civilini, M. (1991) - Temperature, pathogen control and product quality. In: The Staff of BioCycle (Eds.) - *The Biocycle guide to the Art & Science of Composting*. Emmaus, Pennsylvania, EUA, The JG Press, Inc., p. 195-198.
- Boehm, M.J.; Madden, L.V. e Hoitink, H.A.J. (1993) - Effect of organic matter decomposition level on bacterial species diversity and composition in relationship to *Pythium* damping-off severity. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 59, n. 12, p. 4171-4179.
- Bollen, G.J. (1993) - Factors Involved in Inactivation of Plant Pathogens During Composting of Crop Residues, In: Hoitink H.A.J. e Keener H.M. (Eds.) - *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*. Worthington, EUA, Renaissance Publ., p. 301-318.
- Borges, M. de L.V. e Jorge-Silva, M.L. (1992) - Solarização do solo e antagonistas de fungos fitopatogénicos. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 15, n.1-2, p. 281-291.
- Borrero, C.; Trillas, M.I.; Ordovás, J.; Tello, J.C. e Aviles, M. (2004) - Predictive factors for the suppression of *Fusarium* wilt of tomato in plant growth media. *Phytopathology*, vol. 94, n. 10, p. 1094-1101. <http://dx.doi.org/10.1094/PHYTO.2004.94.10.1094>

- Chen, Y. e Hadar, Y. (1987) - Composting and use of agricultural wastes in container media, In: Bertoldi, M. de et al. (Eds.) - *Compost: Production, Quality and Use*. Essex, Reino Unido, Elsevier Appl. Sci. Publ. Ltd., p. 71-77.
- Chen, W.D.; Hoitink, H.A.J. e Madden, L.V. (1988a) - Microbial activity and biomass in container media for predicting suppressiveness to damping-off caused by *Pythium ultimum*. *Phytopathology*, vol. 78, n. 3, p. 1447-1450. <http://dx.doi.org/10.1094/Phyto-78-1447>.
- Chen, W.D.; Hoitink, H.A.J.; Schmitthenner, A.F. e Tuovinen, O.H. (1988b) - The role of microbial activity in suppression of damping-off caused by *Pythium ultimum*. *Phytopathology*, 78, n.3, p. 314-322. <http://dx.doi.org/10.1094/Phyto-78-314>.
- Clulow, S.A.; Stewart, H.E.; Dashwood, E.P. e Wastie, R.L. (1995) - Tuber surface microorganisms influence the susceptibility of potato tubers to late blight. *Annals of Applied Biology*, vol. 126, n. 1, p. 33-43. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7348.1995.tb05001.x>
- Coelho, L. e Reis, M. (2011) - Controlling *Rhizoctonia solani* in cucumber using compost of agro-industrial wastes. In: *Livro de resumos do International Symposium on Growing Media, Composting and Substrate Analysis*, Barcelona, Espanha, 88.
- Cook, R.J. (1993) - Making greater use of introduced microorganisms for biological control of plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology*, vol. 31, p. 53-80. DOI: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.py.31.090193.000413>
- Cotxarrera, L.; Trillas-Gay, M.I.; Steinberg C. e Alabouvette, C. (2002) - Use of sewage sludge compost and *Trichoderma asperellum* isolates to suppress Fusarium wilt of tomato. *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 34, n. 4, p. 467-476. [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00205-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00205-X)
- Couillerot, O.; Prigent-Combaret, C.; Caballero-Mellado, J. e Moënne-Loccoz, Y. (2009) - *Pseudomonas fluorescens* and closely related fluorescent pseudomonads as biocontrol agents of soil-borne phytopathogens. *Letters in Applied Microbiology*, vol. 48, p. 505-512. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-765X.2009.02566.x>
- Daft, G.C.; Poole, H.A. e Hoitink, H.A.J. (1979) - Composted hardwood bark: a substitute for steam sterilization and fungicide drenches for control of *Poinsettia* crown and root rot. *HortScience*, vol. 14, p. 185-187.
- Duijff, B.J.; Meijer, J.W.; Bakker, P.A.H.M. e Schippers, B. (1993) - Siderophore-mediated competition for iron and induced resistance in the suppression of *Fusarium* wilt of carnation by fluorescent *Pseudomonas* spp. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, vol. 99, n. 5-6, p. 277-289. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01974309>
- Ferraz, J.F.P. (1985) - *Doenças radiculares causadas por fungos. I - Uma perspectiva ecológica*. Curso de Aperfeiçoamento de Patologia das Plantas Tropicais e Subtropicais. Oeiras 14-31 de Outubro.
- Ferraz, J.F.P. (1992) - Osmicrorganismos antagonistas no controlo das doenças radiculares. *ASGARVE, Boletim Informativo*, vol. 12, p. 5-7.
- Ferreira, R.B. (2008) - Fungos patogénicos das plantas. A batalha química para a patogénese. *Agros*, n. 2, p. 4-13.
- Garrett, S.D. (1956) - *Biology of Root-Infecting Fungi*. NY, Cambr. Univ. Press, 288 p.
- Garrett, S.D. (1962) - Decomposition of cellulose in soil by *Rizoctonia solani* Kuhn. *Transactions of the British Mycological Society*, vol. 45, p. 114-120.
- Garrett, S.D. (1970) - *Pathogenic Root-Infecting Fungi*. Nova Iorque, Cambridge Univ. Press, 294 p.
- Handreck, K. e Black, N. (1991) - *Growing media for ornamental plants and turf*. 4ª ed. New South Wales Univ. Press, Kensington, NSW Australia, 401 p.
- Hardy, G.E. e Sivasithamparam, K. (1991a) - Effects of sterile and non-sterile leachates extracted from composted eucalyptus bark and pine-bark container media on *Phytophthora* spp. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 23, n. 1, p. 25-50. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717\(91\)90158-G](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(91)90158-G)
- Hardy, G.E. e Sivasithamparam, K. (1991b) - How container media and matric potential affect the production of sporangia, oospores and chlamydospores by three *Phytophthora* species. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 23, n. 1, p. 31-39. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717\(91\)90159-H](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(91)90159-H)
- Hartmann, H.T.; Kester D.E. e Davies F.T. (1990) - *Plant Propagation. Principles and practices*. 5ª ed. New Jersey, EUA, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 647 p.
- Hill, D.S.; Stein, J.I.; Torkeewitz, N.R.; Morse, A.M.; Howell, C.R.; Pachalatko, J.P.; Becker, J.O. e Lignon, J.M. (1994) - Cloning of genes involved in the synthesis of pyrrolnitrin from *Pseudomonas fluorescens* and role of pyrrolnitrin synthesis in biological control of plant disease. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 60, n. 1, p. 78-85.
- Hoitink, H.A.J.; Schmitthenner, A.F. e Herr L.J. (1975) - Composted bark for control of root rot in ornamentals. *Ohio Florist's Association Bulletin*, vol. 60, p. 25-26.
- Hoitink, H.A.J. (1987) - Control of cyclamen *Fusarium* wilt - A preliminary report. *Ohio Florist's Association Bulletin*, n. 693, p. 1-3.

- Hoitink, H.A.J.; Boehm, M.J. e Hadar, Y. (1993) - Mechanisms of Suppression of Soilborn Plant Pathogens, In: Hoitink H.A.J. e Keener H.M. (Eds.) - *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*. Worthington, EUA, Renaissance Publications. p. 601-621.
- Hoitink, H.A.J.; Krause, M.S. e Han, D.Y. (2001) - Spectrum and mechanisms of plant disease control with composts. In: Stofella P.J. e Khan B.A. (Eds.) - *Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems*. Boca Raton, Lewis Publi., p. 263-273.
- Howard, A. (1945) - *Farming and gardening for health or disease*. Faber & Faber, 282 p.
- Inbar, Y.; Bohem, M.J. e Hoitink, H.A.J. (1991) - Hydrolysis of fluorescein diacetate in sphagnum peat container media for predicting suppressiveness to damping-off caused by *Pythium ultimum*. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 23, n. 5, p. 479-483.
[http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717\(91\)90013-A](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(91)90013-A)
- Inbar, Y.; Chen, Y. e Hoitink, H.A.J. (1993) - Properties for Establishing Standards for Utilization of Composts. In: Hoitink, H.A.J. e Keener, H.M. (Eds.) - *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*. Renaissance Publi. Worthington, p. 668-694.
- Klopper, J.W.; Rodriguez-Kabana, R.; Zehnder, G.W.; Murphy, J.F.; Sikora, E. e Fernandez, C. (1999) - Plant root-bacterial interactions in biological control of soilborne diseases and potential extension to systemic and foliar diseases. *Australasian Plant Pathology*, vol. 28, n. 1, p. 21-26.
<http://dx.doi.org/10.1071/AP99003>
- Kuter, G.A.; Hoitink, H.A.J. e Chen, W. (1988) - Effects of municipal sludge compost curing time on suppression of *Pythium* and *Rhizoctonia* diseases of ornamental plants. *Plant Disease*, vol. 72, n. 9, p. 751-756.
<http://dx.doi.org/10.1094/PD-72-0751>
- Larkin, R.P.; Hopkins, D.L. e Martin, F.N. (1996) - Suppression of *Fusarium* wilt of watermelon by nonpathogenic *Fusarium oxysporum* and other microorganisms recovered from a disease-suppressive soil. *Phytopathology*, vol. 86, n. 8, p. 812-819.
<http://dx.doi.org/10.1094/Phyto-86-812>
- Lewis, J.A.; Fravel, D.R.; Lumsden, R.D. e Shasha, B.S. (1995) - Application of biocontrol fungi in granular formulations of pregelatinized starch-flour to control damping-off diseases caused by *Rhizoctonia solani*. *Biological Control*, vol. 5, n. 3, p. 397-404.
<http://dx.doi.org/10.1006/bcon.1995.1047>
- Lootsma, MeScholte, K. (1997) - Effect of soil moisture content on the suppression of *Rhizoctonia* stem canker on potato by the nematode *Aphelenchus avenae* and the springtail *Folsomia fimetaria*. *Plant Pathology*, vol. 46, n. 2, p. 209-215.
<http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-3059.1997.d01-229.x>
- Lugtenberg, B. e Kamilova, F. (2009) - Plant growth-promoting Rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*, vol. 63, p. 541-556. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918>
- Martinez, B.R. (1989) - Present activities for controlling *Phytophthora cinnamomi* Rands (avocado root rot) in the region of Uruapan, Mich., Mexico. *Revista Mexicana de Fitopatologia*, vol. 7, n. 2, p. 240-242.
- Maurhofer, M.; Hase, C.; Meuwly, P.; Mettraux, J.P. e Defago, G. (1994) - Pyoluteorin production by *Pseudomonas fluorescens* strain CHAO is involved in the suppression of *Pythium* damping-off of cress but not of cucumber. *European Journal of Plant Pathology*, vol. 100, n. 3-4, p. 221-232.
<http://dx.doi.org/10.1007/BF01876237>
- McSpadden Gardener, B.B.; Gutierrez, L.J.; Joshi, R.; Edema, R. e Lutton E. (2005) - Distribution and biocontrol potential of pHiD+ pseudomonads in corn and soybean fields. *Phytopathology*, vol. 95, p. 715-724.
<http://dx.doi.org/10.1094/PHYTO-95-0715>
- Menzies, S.A. e Colhoum, J. (1976) - Control of *Phoma* root rot of chrysanthemums by the use of fertilizers. *Transactions of the British Mycological Society*, vol. 67, n. 3, p. 455-462.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536\(76\)80172-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536(76)80172-6)
- Nakasaki, K.; Hiraoka, S. e Nagata, H. (1998) - A new operation for producing disease-suppressive compost from grass clippings. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 64, n. 10, p. 4015-4020.
- Nelson, E.B. e Hoitink, H.A.J. (1982) - Factors affecting suppression of *Rhizoctonia solani* in container media. *Phytopathology*, vol. 72, n. 3, p. 275-279.
<http://dx.doi.org/10.1094/Phyto-72-275>
- Nelson, E.B. e Hoitink, H.A.J. (1983) - The role of microorganisms in the suppression of *Rhizoctonia solani* in container media amended with composted hardwood bark. *Phytopathology*, vol. 73, n. 2, p. 274-278.
<http://dx.doi.org/10.1094/Phyto-73-274>
- Nelson E.B.; Kuter, G.A. e Hoitink, H.A.J. (1983) - Effects of fungal antagonists and compost age on suppression of *Rhizoctonia* damping-off in container media amended with composted hardwood bark. *Phytopathology*, vol. 73, n. 10, p. 1457-1462.
<http://dx.doi.org/10.1094/Phyto-73-1457>

- Nelson E.B. (1990) - Exudate molecules initiating fungal responses to seeds and roots. *Plant and Soil*, vol. 129, p. 61-73.
<http://dx.doi.org/10.1007/BF00011692>
- Pal, K.K. e McSpadden Gardener, B. (2006) - Biological control of plant pathogens. *The Plant Health Instructor*, p. 1-25.
<http://dx.doi.org/10.1094/PHI-A-2006-1117-02>
- Park, D. (1963) - The ecology of soil-borne fungal disease. *Annual Review of Phytopathology*, vol. 1, p. 241-258.
<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.py.01.090163.001325>
- Persson, L. e Olsson, S. (2000) - Abiotic characteristics of soils suppressive to *Aphanomyces* root rot. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 32, n. 8-9, p. 1141-1150.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00030-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00030-4)
- Punja, Z.K. e Zhang, Y.Y. (1993) - Plant chitinases and their role in resistance to fungal diseases. *Journal of Nematology*, vol. 25, n. 4, p. 526-540.
- Sanford, G.B. (1926) - Some factors affecting the pathogenicity of *Actinomyces scabies*. *Phytopathology*, vol. 16, p. 525-547.
- Sant, D.; Casanova, E.; Segarra, G.; Avilés, M.; Reis, M. e Trillas, M.I. (2010) - Effect of *Trichoderma asperellum* strain T34 on Fusarium wilt and water usage in carnation grown on compost-based growth medium. *Biological Control*, vol. 53, n. 3, p. 291-296.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.01.012>
- Score, A. J. e Palfreyman, J. W. (1994) - Biological control of the dry rot fungus *Serpula lacrymans* by *Trichoderma*-species - The effects of complex and synthetic media on interaction and hyphal extension rates. *International Biodeterioration and Biodegradation*, vol. 33, n. 2, p. 115-128.
[http://dx.doi.org/10.1016/0964-8305\(94\)90031-0](http://dx.doi.org/10.1016/0964-8305(94)90031-0)
- Segarra, G.; Reis, M.; Casanova, E. e Trillas, M.I. (2009) - Control of powdery mildew (*Erysiphe polygoni*) in tomato by foliar applications of compost tea. *Journal of Plant Pathology*, vol. 91, n. 3, p. 745-751.
<http://dx.doi.org/10.4454/jpp.v91i3.561>
- Shiau, F.L.; Huang, J.W. e Kao, C.W. (1994) - Characteristics of a formulated medium suppressive to *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Plant Protection Bulletin Taipei*, vol. 36, n. 4, p. 271-279.
- Shiomi, Y.; Nishiyama, M.; Onizuka, T. e Marumoto, T. (1999) - Comparison of bacterial community structures in the rhizoplane of tomato plants grown in soils suppressive and conducive towards bacterial wilt. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 65, n. 9, p. 3996-4001.
- Sivapalan, A.; Morgan, W.C. e Franz, P.R. (1994) - Effect of inoculating fungi into compost on growth of tomato and compost microflora. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol. 34, n. 4, p. 541-548.
<http://dx.doi.org/10.1071/EA9940541>
- Spencer, S. e Benson, D.M. (1982) - Pine bark, hardwood bark compost and peat amendment effects on development of *Phytophthora* spp. and Lupine root rot. *Phytopathology*, vol. 72, n. 3, p. 346-351.
- Sturz, A.V.; Carter, M.R. e Johnston, H.W. (1997) - A review of plant disease, pathogen interactions and microbial antagonism under conservation tillage in temperate humid agriculture. *Soil and Tillage Research*, vol. 41, n. 3-4, p. 169-189.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987\(96\)01095-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987(96)01095-1)
- Szczecz, M.; Brzeski, M.; Sobolewski, J. e Staniaszek, M. (1997) - Possibilities of use of brewery refuse extract in biological control of powdery mildew in tomato. *Progress in Plant Protection*, vol. 37, n. 2, p. 383-386.
- Szczecz, M.M. (1999) - Suppressiveness of vermicompost against *Fusarium* wilt of tomato. *Journal of Phytopathology*, vol. 147, n. 3, p.155-161.
<http://dx.doi.org/10.1046/j.1439-0434.1999.147003155.x>
- Suárez-Estrella, F.; Bustamante, M.A.; Moral, M.; Vargas-García, M.C.; M.J. López, M.J. e Moreno, J. (2012) - In vitro control of *Fusarium* wilt using agroindustrial subproduct-based composts. *Journal of Plant Pathology*, vol. 94, n. 1, p. 59-70.
<http://dx.doi.org/10.4454/jpp.fa.2012.002>
- Theodore, M. e Toribio, J.A. (1995) - Suppression of *Pythium aphanidermatum* in composts prepared from sugarcane factory residues. *Plant and Soil*, vol. 177, n. 2, p. 219-223.
<http://dx.doi.org/10.1007/BF00010128>
- Toussaint, J.P.; Kraml, M.; Nell, M.; Smith, S.E.; Smith, F.A.; Steinkellner, S.; Schmiderer, C.; Vierheilig, H. e Novak, J. (2008) - Effect of *Glomus mosseae* on concentrations of rosmarinic and caffeic acids and essential oil compounds in basil inoculated with *Fusarium oxysporum* f. sp. *Basilica*. *Plant Pathology*, vol. 57, p. 1109-1116.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00374-009-0422-7>
- Trillas-Gay, M.I.; Hoitink, H.A.J. e Madden, L.V. (1986) - Nature of suppression of *Fusarium* wilt of radish in a container medium amended with composted hardwood bark. *Plant Disease*, vol. 70, n. 11, p. 1023-1027.
<http://dx.doi.org/10.1094/PD-70-1023>

- Tu, J.C.; Papadopoulos, A.P.; Hao, X. e Zheng, J. (1999) - The relationship of *Pythium* root rot and rhizosphere microorganisms in a closed circulating and an open system in rockwool culture of tomato. *Acta Horticulturae*, vol. 481, p. 577-585.
<http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.1999.481.68>
- Villajuanabgona, R.; Kageyama, K. e Hyakumachi M. (1996) - Biocontrol of *Rhizoctonia* damping-off of cucumber by non-pathogenic binucleate *Rhizoctonia*. *European Journal of Plant Pathology*, vol. 102, n. 3, p. 227-235.
<http://dx.doi.org/10.1007/BF01877961>
- Voland, R.P. e Epstein, A.H. (1994) - Development of suppressiveness to diseases caused *Rizoctonia solani* in soils amended with composted and noncomposted manure. *Plant Disease*, vol. 78, n. 5, p. 461-466.
<http://dx.doi.org/10.1094/PD-78-0461>
- Westphal, A. e Becker, J.O. (2000) - Transfer of biological soil suppressiveness against *Heterodera schachtii*. *Phytopathology*, vol. 90, n. 4, p. 401-506.
<http://dx.doi.org/10.1094/PHYTO.2000.90.4.401>
- Yimäki, A.; Toiviainen, A.; Kallio, H. e Tikanmäki, E. (1983) - Survival of some plant pathogens during industrial-scale composting of wastes from a food processing plant. *Ann. Agriculturae Fenniae*, vol. 22, p. 77-85.
- Yuen, G.Y. e Raabe, R.D. (1984) - Effects of small-scale aerobic composting on survival of some fungal plant pathogens. *Plant Disease*, vol. 68, n. 2, p.134-136.
<http://dx.doi.org/10.1094/PD-68-134>
- Weller, D.M.; Raaijmakers, J.M.; McSpadden Gardener B.B. e Thomashow L.S. (2002) - Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology*, vol. 40, p. 309-348.
<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.phyto.40.030402.110010>
- Zaccardelli, M.; de Nicola, F.; Vilecco, D. e Scotti, R. (2013) - The development and suppressive activity of soil microbial communities under compost amendment. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, vol. 13, n. 3, p. 730-742.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162013005000058>
- Zucconi, F. e Bertoldi, M. de. (1987) - Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid wastes. In: Bertoldi, M. de *et al.* (Eds.) - *Compost: Production, Quality and Use*. Elsevier Appl. Sci. Publ. Ltd. Essex, Reino Unido, p. 30-50.