
BIOTA DO SOLO E SUAS RELAÇÕES ECOLÓGICAS COM O SISTEMA RADICULAR

MANHAES, Carmen Maria Coimbra¹
FRANCELINO, Francisco Mauricio Alves²

Recebido em: 2012-09-12

Aprovado em: 2013-11-06

ISSUE DOI: 10.3738/1982.2278.815

RESUMO: O solo é um recurso natural essencial para a sobrevivência humana. dele retiramos o nosso alimento, para que a produção de alimentos seja mais equilibrada, é necessário manejar e conservar bem este recurso natural. Principalmente no que se refere à biota do solo, pois por se tratar de vida ativa é muito sensível às ações antrópicas de manejo do solo, se tornando um alvo fácil no processo de degradação e empobrecimento do solo. A fauna do solo se caracteriza como indivíduos que passam a maior parte do seu ciclo de vida no solo. este artigo objetivo relatar as várias relações ecológicas específicas que ocorrem entre a biota do solo e o sistema radicular e suas principais consequências para o sistema solo-rizosfera, utilizando para isto de uma revisão de literatura. O estudo da ecologia da rizosfera pode ser considerado como um estudo multidisciplinar, muito importante para se desvendar mistérios que ocorrem dentro do solo e elucidar questões importantes que até agora não foram completamente elucidadas.

Palavras-Chave: Fauna do solo. Biodiversidade. Rizosfera.

SOIL BIOTA AND ITS ECOLOGICAL RELATIONSHIPS WITH THE ROOT SYSTEM

SUMMARY: Soil is a natural resource essential to human survival. Its we pulled our food, for the food production to be more balanced, it is necessary manage and conserve well this natural resource. Especially in regard to soil biota, for being active life is very sensitive to anthropogenic soil management, becoming an easy target in the process of degradation and soil impoverishment. The soil fauna is characterized as individuals who spend most of their life cycle in the soil. This article aimed at reporting the various specific ecological relationships that occur between soil biota and the root system and its main consequences for the soil-rhizosphere, using for this purpose a literature review. The study of the ecology of the rhizosphere can be considered as a multidisciplinary study, very important to unravel mysteries that occur within the soil and elucidate important issues that have not yet been completely elucidated.

Keywords: Soil fauna. Biodiversity. Rhizosphere.

INTRODUÇÃO

O solo caracteriza-se como um local de moradia para um grande número de seres macroscópicos e microscópicos, onde contém uma enorme diversidade de organismos que garantem o seu biofuncionamento e sustentação. Estudos demonstram que a biota do solo é muito sensível às modificações da cobertura e da estrutura do solo. Daí a necessidade de se aprimorar novas formas de manejo deste solo, que visem à maximização de sua matéria orgânica, priorizando a manutenção de sua fauna e flora, assim como a conservação das características físicas e químicas do solo.

Existe uma enorme biodiversidade vivendo debaixo da terra e boa parte dela, por ser microscópica, passa despercebida aos nossos olhos. Por não conseguirmos visualizá-los a olho nú, seja pelo tamanho diminuto, seja por viverem “escondidos”, é a principal causa de serem algumas vezes negligenciados por parte da sociedade. Além disso, o cidadão comum está acostumado a considerar os

¹ Engenheira Agrônoma, Mestre em Produção Vegetal – Solos e Nutrição de Plantas, Doutoranda em Produção Vegetal – Engenharia e Economia na Agricultura - UENF

² Licenciado em Ciências Agrícolas, Mestre em Produção vegetal – Fitomelhoramento - UENF

microrganismos - bactérias, fungos, protozoários e algas, entre outros - como causadores de doenças e, ou, produtores de toxinas nocivas à saúde humana, animal e vegetal e que, por isso, devem ser eliminados e evitados a qualquer custo. Se adequadamente informada, a sociedade leiga ficaria surpresa em saber que, se não fossem os diversos processos que os organismos executam, notadamente no solo, a humanidade pereceria. A popularização da ciência é imprescindível não só para que a sociedade se conscientize do ambiente que a cerca, mas também para que reconheça seu importante papel em manejá-lo e conservá-lo adequadamente. Se, os microrganismos (principalmente bactérias e fungos) não degradassem a matéria orgânica, estaríamos atolados em nossos próprios detritos, e os nutrientes resultantes desta degradação não circulariam no ambiente para ajudar a gerar e nutrir novos organismos (MOREIRA; CARES, 2009). Organismos estes, que podem habitar tanto o solo, a serapilheira ou a rizosfera.

A rizosfera, região imediatamente ao redor do conjunto de raízes, constitui uma zona de alta atividade microbiana, mais alta do que em outra parte do solo. Esta maior atividade é devida às raízes secretarem muitos tipos de açúcares, aminoácidos e vitaminas que favorecem o desenvolvimento microbiano. A zona rizosférica pode apresentar populações microbianas até cem vezes superior em relação à zona não-rizosférica e este efeito rizosférico varia de acordo com a espécie vegetal, sendo o das leguminosas, mais pronunciado por unidade de raiz. Este fato deve estar relacionado com a menor relação C/N desta espécie. Muitas bactérias que vivem na região da rizosfera apresentam a capacidade de estimular o desenvolvimento das plantas pela produção de substâncias orgânicas que influenciam os processos fisiológicos delas, por controle biológico de fitopatógenos ou, ainda, por interferência na nutrição das plantas (PERRANDO, 2008).

Durante muito tempo, o termo "fauna rizosfera" tem sido usado como sinônimo para designar pragas agrícolas entre os herbívoros da raiz, principalmente larvas de insetos e nematóides. A ligação entre plantas e fauna na rizosfera é muito mais complexa do que simplesmente a de recursos e consumidor. As raízes das plantas têm se mostrado, não como vítimas indefesas de consumidores de raiz, nem receptores passivos de nutrientes, mas tendo um papel muito mais ativo na defesa de si mesma e atraindo microrganismos benéficos do solo e fauna do solo. Por outro lado, dos consumidores de raiz mais importantes, como os nematóides e larvas de insetos, são esperados o emprego de estratégias altamente coevolúidas para combater o sistema de defesa da raiz (BONKOWSKI *et al.*, 2009).

De todos os micro-habitats do solo, a serapilheira e a rizosfera são os lugares mais ricos em recursos, sendo estes preferidos pelos organismos edáficos para desenvolver seu ciclo de vida. Nessas regiões, os microrganismos proliferam usando carboidratos, exsudados, ácidos orgânicos, aminoácidos, enzimas e células liberadas por raízes, folhas e outros materiais vegetais (BROWN, 2002). Segundo Souto *et al.* (2008) esse comportamento pode ser reflexo de melhores condições de umidade, aeração, temperatura, pH e suprimento de nutrientes, que favorecem o desenvolvimento desses organismos.

Este artigo objetivo relatar as várias relações ecológicas específicas que ocorrem entre a biota do solo e o sistema radicular e suas principais consequências para o sistema solo-rizosfera, utilizando para isto de uma revisão de literatura.

REVISÃO DE LITERATURA

Microrganismos e microfauna

Atualmente são conhecidas mais de 10 milhões de espécies em cerca de 140 filos dos três domínios da vida (*Eucarya*, *Bacteria* e *Archaea*), podemos estimar que o número de espécies no solo – um dos ecossistemas

com maior biodiversidade do planeta - seja pelo menos na casa dos milhões. Mas ainda se resta descobrir a parte desconhecida da biodiversidade do solo, sejam os microrganismos não cultiváveis, sejam aqueles cujos habitats ainda não foram estudados ou ainda os inúmeros espécimes depositados em coleções que aguardam identificação (MOREIRA; CARES, 2009). Sem contar, aqueles que já foram extintos antes mesmos de serem descobertos e identificados.

Alguns microrganismos e indivíduos da microfauna como protozoários e nematóides bacteriófagos são os principais consumidores da produção bacteriana na rizosfera, formando a base da alimentação eucariótica heterotrófica na rizosfera e este fluxo de energia gerado, através do consumo bacteriano, é capaz de canalizar energias para níveis tróficos superiores no solo. Investigações recentes indicam que os nutrientes liberados a partir da biomassa microbiana são apenas uma pequena parte de uma íntima relação, e devemos considerar ainda a simbiose indireta de bacteriófagos com as raízes das plantas. Estas complexas interações multitróficas entre as raízes das plantas, bactérias, bacteriófagos e fauna do solo estão sobre o domínio de mecanismos específicos e seletivos de defesa e ataque que ocorrem na rizosfera das plantas (BONKOWSKI *et al.*, 2009).

Os microrganismos do solo, devido à sua grande abundância e atividade biológica e metabólica e por responderem muito rápido às mudanças no ambiente edáfico, apresentam-se como promissores para uso na avaliação da qualidade do solo e indicadores da qualidade do mesmo, podendo ser utilizados em estudos para elucidação de algumas questões importantes que ainda não foram esclarecidas.

Porém, cada espécie desenvolveu o seu próprio mecanismo com a evolução ao longo dos tempos. Bonkowski *et al.* (2009) relatam que o sucesso de certas estirpes de bactérias indica que elas tiveram que desenvolver mecanismos de defesa contra os seus predadores, e o resultado desta competição depende diretamente da capacidade da bactéria de lidar com seus predadores em busca de sua sobrevivência.

A microfauna do solo, animais com tamanho de 4µm a 100µm, regulam as populações de bactérias e fungos e alteram a ciclagem de nutrientes, geralmente vivem nos filmes de água do solo e podem se alimentar de microrganismos, raízes de plantas e outros organismos da microfauna ou algumas vezes de organismos maiores (BROWN *et al.*, 2006).

Devido ao seu reduzido tamanho, a microfauna não é capaz de produzir excrementos sólidos que gerem estruturas duradouras e estáveis após a sua deposição. No entanto, esses organismos possuem um impacto considerável na dinâmica populacional de microrganismos e na liberação de nutrientes imobilizados na biomassa microbiana. Este processo é especialmente importante na rizosfera. Colêmbolos, ácaros predadores, e até mesmo invertebrados maiores como as minhocas, podem estender essa teia alimentar por muitos outros níveis tróficos (LAVELLE, 1997). A biomassa da microfauna do solo está geralmente presente em quantidades superiores na rizosfera do que no restante do solo, embora a diversidade não siga necessariamente esta tendência (BOWEN; ROVIRA, 1991).

Os nematóides de solo, grupo integrante da microfauna, mais conhecidos como nematofauna, podem ser classificados de acordo com sua funcionalidade, como fitoparasitas (que parasitam plantas), bacteriófagos (que se alimentam de bactérias), micrófagos (que se alimentam de microrganismos, principalmente fungos), predadores ou onívoros. Vários autores classificam os bacteriófagos e os fitófagos como sendo os dois grupos de nematofauna mais importantes.

Os fitófagos são os mais conhecidos por causa dos prejuízos que eles causam nos sistemas agrícolas e os bacteriófagos são conhecidos pela sua capacidade de reduzir as populações de bactérias, causando efeito indireto na produtividade das plantas. Estes indivíduos atuam também diretamente e indiretamente em reações específicas na rizosfera, pois ao afetarem a disponibilidade de nutrientes, alteram a quantidade destes na solução do solo, que serão absorvidos prontamente pelas raízes das plantas.

Os nematóides através de suas relações com os microrganismos acarretam importantes consequências para as micro-teias alimentares de bactérias de vida livre e os seus predadores sobre as raízes das plantas (BONKOWSKI *et al.*, 2009).

A nematofauna também pode ser utilizada como indicadora da qualidade do solo e de sistemas de cultivo, pela presença ou ausência de certos grupos funcionais.

Uma importante relação que também ocorre na rizosfera é a simbiose entre bactérias do gênero *Rhizobium*, que fazem a fixação biológica do Nitrogênio atmosférico (N₂) e raízes de plantas da família *Leguminosae*, formando nódulos na raiz destas plantas. Esta simbiose trás benefícios tanto para as plantas, quanto para os microrganismos e consequentemente beneficiamos o processo de produção agrícola como um todo ao se utilizar esta simbiose.

As populações de actinomicetos também são importantes constituintes da microflora da rizosfera, seja pela capacidade de síntese de antibióticos, permitindo o uso de sua capacidade antagonista no biocontrole de fitopatógenos; seja pela influência que promove no estabelecimento de microrganismos benéficos, como diazotróficos e as micorrizas; e ainda pela formação de actinorrizas, onde é capaz de fixar nitrogênio atmosférico (PEREIRA, 2000).

O conhecimento das relações entre a diversidade de grupos de animais do solo e a diversidade de plantas é uma importante e urgente tarefa para os ecologistas de solo, particularmente diante da expansão e intensificação da agricultura em muitos países tropicais. Contudo, principalmente nos ecossistemas tropicais há poucos trabalhos que enfatizem a influência (positiva ou negativa) da adubação sobre a densidade e diversidade da fauna do solo. Estes estudos ainda são incipientes, havendo a necessidade de trabalhos que possam esclarecer e ampliar o conhecimento da participação desses organismos em processos, como a decomposição e ciclagem de nutrientes (BROWN *et al.*, 2006). Processos estes, que ocorrem no solo, na serapilheira e na rizosfera.

Meso e macro fauna do solo

A mesofauna está compreendida entre populações de 100µm a 2mm, é formada por ácaros, colêmbolos, aracnídeos, diversas ordens de insetos e alguns oligoquetos. Suas atividades tróficas incluem tanto o consumo de microrganismos e da microfauna, como também a fragmentação do material vegetal em decomposição (saprofagia), alterando a ciclagem de nutrientes, afetando a estrutura do solo produzindo pelotas fecais, criando bioporos e promovendo a humificação. Já a macrofauna apresenta diâmetro corporal entre 2mm e 20mm e podem pertencer a quase todas as ordens encontradas na mesofauna, excetuando-se ácaros, colêmbolos, proturos e dipluros. Regulam as populações de fungos e da microfauna, estimulam a atividade microbiana, podendo afetar a estrutura do solo, misturando partículas orgânicas e minerais, redistribuindo a matéria orgânica e microrganismos, promovendo a humificação e produzindo pelotas fecais. (CORREIA; OLIVEIRA, 2000).

Pode-se caracterizar a fauna do solo como espécies que passam a maior parte do seu ciclo de vida em ninhos e cavidades no solo; alguns sexoados vêm à superfície uma ou poucas vezes ao ano, a fecundação é no ar, os machos morrem em seguida ao vôo nupcial, as fêmeas retornam a terra, perdem as asas, enterram-se, e todo o desenvolvimento colonial se dá abaixo da superfície, em geral nas camadas mais superficiais (SILVA; SILVESTRE, 2004).

A mesofauna possui habilidade de escavar, geralmente vivem nos poros do solo e alimentam-se de matéria orgânica e de algumas raízes de plantas, da microbiota ou de outros invertebrados (BROWN *et al.*, 2006).

Apesar de toda a pesquisa existente sobre a micro, meso e macrofauna do solo, é comum não se dá importância a estes animais enquanto não se tornarem praga e não incomodarem. A maioria dos componentes da meso e macrofauna melhoram a qualidade do solo, especialmente a mobilização de nutrientes, através de enzimas, e o melhoramento da estrutura, através da ativação da microvida. Melhoram as características físicas do solo, removendo-o e cavando-o. A galeria construída pelos animais de solo, como larvas de inseto, insetos, minhocas e outros servem à penetração das raízes, à infiltração de água e à circulação do ar. As enzimas excretadas por animais do solo estimulam o crescimento das plantas. A lavração, queimadas, exposição do solo ao sol e uso de adubos amoniacais fazem com que desapareça a maioria da mesofauna, pois estas práticas criam microclimas desfavoráveis para reprodução e sobrevivência de muitos desses organismos. Existe uma relação específica entre os animais de certo solo e as características físicas e químicas deste solo, a medida que o solo piora em suas condições físicas e químicas, diminui a relação entre ácaros e colembolos (PRIMAVESI, 2002).

Em solos ricamente habitados pela mesofauna, o húmus produzido melhora a CTC do solo. Os animais se alimentam da matéria orgânica, predigerindo-a, de modo que possa ser atacada diretamente por bactérias. Onde existe meso e macrofauna ativa, há menos fungos maléficos no solo, evitando doenças fúngicas (PRIMAVESI, 2002).

A função dos invertebrados no solo depende principalmente de seus hábitos alimentares, de sua mobilidade e da posição que ocupam no espaço. A divisão dos grupos funcionais pode ser feita em saprófagos, micrófagos, predadores, insetos sociais e fitófagos. O regime alimentar constitui o principal elemento que permite classificar os diferentes tipos de organismos. Com efeito, pelo hábito alimentar é possível avaliar as relações existentes entre os diferentes organismos e estimar sua influência nas características do solo (ASSAD, 1997).

Os saprófagos alimentam-se diretamente do material em decomposição, fragmentando-os. O seu hábito alimentar libera nutrientes em forma disponível às plantas.

Os micrófagos, que geralmente são microartrópodes, são responsáveis pela regulação da população microbiana, pois se utilizam dos mesmos como fonte direta de carbono (ANDRADE, 2000).

Os predadores alimentam-se de outros organismos vivos. A predação resulta em efeitos negativos no crescimento e sobrevivência de uma população que sofre predação e em efeito positivo ou benéfico na outra que executa a predação.

Os insetos sociais se caracterizam por apresentarem organização social, como é o caso das formigas (ordem *Hymenoptera*, família *Formicidae*) e dos cupins (ordem *Isoptera*).

A fauna de invertebrados do solo pode contribuir para a avaliação do status da sustentabilidade em um sistema qualquer, seja ele de produção, de recuperação de uma área degradada, ou até mesmo no caso de um sistema natural modificado pelas ações antrópicas (ANDRADE, 2000). A estreita relação entre a fauna edáfica e a qualidade ambiental do solo, demonstra a importância desses organismos como indicadores do equilíbrio de funcionamento do sistema (LIMA *et al.*, 2007).

Um dos grupos da fauna edáfica que tem contribuído bastante para a sustentabilidade do solo e por isso tem merecido destaque como indicador biológico é a Ordem *Collembola*. Isto porque colêmbolos são indivíduos extremamente sensíveis, o que permite que manifestem rapidamente as consequências às variações ambientais em suas populações. Esta característica sugere que estes organismos sejam bons indicadores biológicos (ROVEDDER *et al.*, 2004).

Segundo Bonkowski *et al.* (2009) muitos autores descrevem a ocorrência de mudanças na morfologia da raiz na presença de *Collembola* eles supõem que estas transformações são devidas a mudanças na disponibilidade de nutrientes e distribuição dos mesmos mediada por *Collembola*. Outro exemplo é a minhoca, vários trabalhos têm demonstrado a importância destes organismos no transporte de

materiais no perfil de solo e no transporte de nutrientes da serapilheira para o solo e para a rizosfera. Bonkowski *et al.* (2009) relatam que a atividade da minhoca aumenta a disponibilidade de nitrogênio para as plantas, seja pela indução de liberação de compostos de defesa pelas plantas, ou pelo próprio transporte do nutriente.

Biota do solo e rizosfera

A biota do solo é composta por uma grande variedade de organismos, tanto organismos diminutos quanto animais invertebrados que podem ser vistos a olho nu, apresentando uma grande variedade de metabolismos e tamanhos.

A população desses organismos pode ser influenciada pelo sistema de cultivo, adubação e calagem. O uso de diferentes coberturas vegetais e de práticas culturais parece atuar diretamente sobre a população da fauna do solo. Este efeito é muitas vezes relacionado à permanência de resíduos orgânicos sobre a superfície do solo. Outro aspecto a considerar é que a fauna edáfica contribui na decomposição de resíduos orgânicos e na estruturação do solo ao se movimentar no perfil do solo. Portanto, a determinação da sua população e diversidade é de fundamental importância para avaliar as interações biológicas no sistema solo/planta (GIRACCA *et al.*, 2003).

Ecologicamente, o solo é composto por domínios funcionais, tais como a rizosfera, volume de solo influenciado pelas raízes das plantas; a termitosfera, ambiente influenciado por cupins; a drilosfera, ambiente influenciado por minhocas, etc. Esses domínios são formados por ações de reguladores: plantas, fauna do solo, condições edafoclimáticas, entre outras. E dentro deles há uma série de atividades que envolvem os macro e microrganismos responsáveis por inúmeros processos biológicos, que podem ser particulares ou não a cada domínio, e pela estruturação do solo (agregados, macro e microporos) (LAVELLE, 2000).

A atividade metabólica dos organismos que vivem no solo é fortemente influenciada pela presença de raízes e materiais orgânicos em decomposição. Na rizosfera, observa-se uma intensa atividade microbiana, em razão da presença de exsudatos e secreções radiculares que representam as maiores fontes de carbono prontamente disponíveis para os microrganismos. Fora da zona de influência das raízes, se não considerarmos o aporte de material orgânico advindo da parte aérea das plantas, o solo pode ser considerado oligotrófico ou relativamente pobre em fontes de carbono disponíveis (ROSADO, 2000).

Em termos de fluxo energético da cadeia trófica, os macrorganismos (macro e mesofauna) desenvolvem principalmente as funções dentritívoras, e os microrganismos são os principais responsáveis pela mineralização dos nutrientes, cerca de 90%, tornando-os disponíveis na solução do solo (LAVELLE, 2000).

Na rizosfera a produção de exsudatos estimula uma intensa atividade microbiana, que é utilizada como substrato energético pela microfauna e mesofauna. Percebe-se então, que monitorar a fauna de solo é um instrumento que permite avaliar não só a qualidade de um solo, como também o próprio funcionamento de um sistema de produção, já que esta se encontra intimamente associada aos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes, na interface solo-planta. No entanto, monitorar a fauna é importante também por ser ela mesma um compartimento que desempenha funções importantíssimas e indispensáveis no ecossistema, e que, portanto merece ser continuamente avaliada (CORREIA; OLIVEIRA, 2000).

É importante então, conhecer dentro o universo de grupos de invertebrados, quais os que são capazes de realizar mais eficientemente processos de regulação das comunidades microbianas, ciclagem

de nutrientes, além de modificar estruturalmente os habitats da serapilheira e do solo. Esse conhecimento fornece bases para um manejo da fauna do solo, tanto de maneira direta, pela introdução de grupos de invertebrados de maior interesse, como de maneira indireta, pelo manejo das características do habitat (CORREIA; OLIVEIRA, 2000).

A rizosfera é um ambiente mutável, sendo que a sua composição e a sua estrutura são influenciadas durante o ciclo vegetativo. Suas dimensões também são determinadas pelo tipo, composição e umidade do solo. A planta pode modificar as características químicas do solo nas proximidades de suas raízes através dos fragmentos descascados da superfície das raízes e dos exsudatos radiculares solúveis, enriquecendo o solo com uma variedade de compostos orgânicos; do consumo de O₂ e liberação de CO₂, modificando a atmosfera radicular; da absorção seletiva de íons nutritivos, diminuindo a concentração de sais; e do consumo de H₂O, reduzindo a umidade, etc. Os exsudatos radiculares contêm uma miscelânea de compostos como açúcares, ácidos orgânicos, aminoácidos, peptídeos, nucleotídeos, vitaminas e outros compostos biologicamente ativos, sendo que a composição dos exsudatos sofre mudanças em várias fases do desenvolvimento da planta. A influência da rizosfera sobre vários grupos fisiológicos de bactérias é variável, evidenciando a sensibilidade seletiva destes grupos. Tem-se observado que os bacilos esporulantes (*Bacillus*) e os cocos Gram-positivos são inibidos na rizosfera das plantas cultivadas, enquanto os bastonetes Gram-negativos como *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Agrobacter*, *Caulobacter*, *Bdellovibrio*, *Beijerinckia*, *Rhizobium* e *Azospirillum* são estimulados (SIQUEIRA; FRANCO, 1988).

As bactérias com exigências nutricionais simples (capazes de crescer em meio composto de açúcar, fonte de nitrogênio mineral e de sais minerais) e aquelas que exigem a presença de aminoácidos são também estimuladas na rizosfera. A massa bacteriana pode atingir 36 mg de bactérias por g de raiz. Estudos com microscopia eletrônica têm demonstrado que as densidades das populações bacterianas podem chegar a 120 - 160 x 10⁶ UFC/cm² de raiz. As atividades das raízes criam um habitat favorável para o desenvolvimento das populações fúngicas. Entretanto, o efeito rizosférico sobre estes microrganismos parecem ser mais limitados do que para as populações bacterianas. A proximidade das raízes resulta na germinação dos esporos dormentes, que são predominantes no solo não rizosférico. Alguns dos gêneros mais representativos encontrados na rizosfera das plantas cultivadas são: *Alternaria*, *Aspergillus*, *Acaulospora*, *Fusarium*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Mucor*, *Penicillium*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Scutellospora* (SIQUEIRA; FRANCO, 1988).

As espécies de endomicorrizas e de ectomicorrizas são estimuladas, formando associações simbióticas. Em consequência há um incremento do volume do solo sob influência da raiz (micorizosfera), induzindo os aumentos substanciais no número de microrganismos (FOSTER, 1986). A densa colonização do sistema radicular das plantas por micorrizas e as alterações resultantes desta associação na fisiologia e exsudação das raízes, sugerem que as associações micorrízicas influenciam grupos específicos de bactérias e actinomicetos na rizosfera (PEREIRA, 2000).

Para as populações de actinomicetos, a rizosfera também se mostra um nicho favorável. Tem se observado que os gêneros comumente encontrados na rizosfera das plantas cultivadas são *Streptomyces* e *Nocardia*. Em geral, a influência da rizosfera sobre as populações de actinomicetos é menor do que sobre as populações das bactérias e sobre as populações fúngicas, visto que os actinomicetos são microrganismos de crescimento lento com baixa capacidade competitiva. Desta forma, não conseguem predominar em substratos orgânicos nos quais outros microrganismos apresentam capacidade de colonização mais elevada. As densidades das populações de actinomicetos na rizosfera é variável podendo atingir 10⁶ a 10⁷ UFC/g de solo rizosférico seco (SIQUEIRA; FRANCO, 1988).

Estudos ecológicos das populações de actinomicetos são de extrema importância, visto que esses microrganismos formam esporos e conídios, permitindo a sua sobrevivência em condições adversas. Além disso, os actinomicetos se destacam pela possibilidade de sintetizar vitaminas, substâncias inibidoras da atividade enzimática, antibióticos e outros compostos biologicamente ativos (PEREIRA *et al.*, 1999).

Dessa forma, na rizosfera, as populações de actinomicetos apresentam grande importância ecofisiológica para as plantas e para as demais populações com as quais interagem. A comunidade microbiana na rizosfera é representada por populações diversificadas e numerosas em estado de equilíbrio dinâmico, refletindo o ambiente físico, químico, biológico e suas relações. Portanto, as influências de naturezas diversas, provenientes das interações biológicas são determinantes das densidades e das atividades das populações na comunidade microbiana rizosférica (SIQUEIRA; FRANCO, 1988).

As rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (RPCPs) habitam a rizosfera. Entre os diversos mecanismos de ação já relatados para promover o crescimento de plantas estão a produção de hormônios de crescimento, como auxinas, e a solubilização de fosfatos minerais (FREITAS *et al.*, 1997). Além disso, RPCPs são importantes agentes de controle biológico, pois podem suprimir microrganismos patogênicos da rizosfera (COELHO, *et al.*, 2007).

Existem relatos de aumento da produção causados pela utilização de rizobactérias em várias culturas, nesses casos, o aumento da produção está ligada a vários fatores, como aumento na produção de grãos e no crescimento da planta, diminuição na incidência de patógenos ou na severidade da doença, além de outros. O efeito no crescimento da planta pode ser expresso tanto pela massa da matéria seca de parte aérea ou raízes, como pela altura. No entanto, é necessário, primeiramente, estudar a ecologia desses microrganismos na rizosfera e obter informações sobre mecanismos de colonização de raízes, especificidade de hospedeiros, influência de fatores ambientais e interações com outros microrganismos (COELHO, *et al.*, 2007).

Pela avaliação do número de bactérias na rizosfera é possível conhecer alguns dos fatores que exercem influência sobre seu estabelecimento em um ambiente e avaliar sua capacidade de se estabelecer na rizosfera (COELHO, *et al.*, 2007). Estes autores anteriormente citados verificaram que a rizosfera de alface, em comparação com a de outras espécies vegetais como chicória e rúcula, favoreceu o estabelecimento de bactérias fluorescentes do gênero *Pseudomonas spp. fluorescentes*, em comparação com as do gênero *Bacillus*.

Coelho *et al.* (2007) relatam ainda que, esse efeito da rizosfera foi observado independentemente das características do solo ou das condições de cultivo, diferentes em cada propriedade. Uma das hipóteses é de que a rizosfera de alface, independentemente do ambiente, produza alguma substância benéfica a essas bactérias, composto esse ausente ou produzido em quantidade muito menor na rizosfera das outras plantas. Para *Bacillus spp.* também houve certo favorecimento da rizosfera de alface em relação às outras plantas, ainda que não tão acentuado quanto o que se observou em *Pseudomonas*. Esse favorecimento poderia levantar a hipótese de especificidade entre *Pseudomonas fluorescentes* e alface (COELHO, *et al.*, 2007).

Oliveira; Oliveira (2005) estudaram a dinâmica temporal da colonização micorrízica e de números de esporos na rizosfera de duas espécies frutíferas, bem como avaliaram os efeitos da precipitação pluvial, da umidade do solo e de algumas variáveis químicas na dinâmica de Fungos Micorrízicos Arbusculares na Amazônia Central. Concluindo que, tanto a colonização micorrízica como a esporulação são sazonais e dependentes da espécie de planta hospedeira, precipitação pluvial, teor de umidade e das características químicas do solo, nas condições da Amazônia Central.

Azpilicueta *et al.* (2008) estudaram os efeitos da fertilização nitrogenada sobre a abundância dos grupos tróficos e avaliaram a comunidade de nematóides na rizosfera e suas relações com a disponibilidade de nitratos em cultivo de maçã no Alto Valle do Rio Negro, Argentina. Concluindo que, abaixo das doses utilizadas no experimento que foram de 75 kg ha⁻¹ e 150 kg ha⁻¹, o grupo de onívoros-predadores não refletiram o efeito da fertilização nitrogenada, provavelmente é necessário maior tempo de monitoramento para detectar mudanças devido a sua baixa população. Contrariamente, o número de bacteriófagos aumentou com a maior dose de nitrogênio durante o estudo, sendo um dos grupos mais importantes na regulação da decomposição da matéria orgânica. A população de nematóides fitófagos foi significativamente maior que o resto dos grupos tróficos encontrados, o que pode estar associado ao uso contínuo de fertilizantes nitrogenados desde a implantação do pomar, já que algumas práticas de manejo podem ocasionar impactos que perduram sobre a estrutura da comunidade e reciclagem de nutrientes.

Endlweber; Scheu (2006) investigaram se a ordem *Collembola* afetou o relacionamento de competição entre *E. adnatum* e *C. arvense*; estas espécies de plantas foram tidas como um modelo de organismos para investigar os efeitos de *Collembola* na competição de plantas. Estes autores partiram da hipótese de que a ordem *Collembola* alteraria o crescimento das plantas, a morfologia radicular e o conteúdo de nutrientes nestas plantas o que resultaria em mudanças na competição entre as duas espécies. Concluindo que, a produção de biomassa das duas plantas diminuiu e a competição entre as plantas permaneceu inafetada. Afirmando que a presença da ordem *Collembola* alterou a estrutura do sistema radicular destas plantas e os recursos explorados pelas raízes.

Considerando que o efeito da ordem *Collembola* varia com a espécie da planta e com as condições do solo, são necessários estudos posteriores combinando as análises da estrutura do sistema radicular de plantas e a composição da comunidade microbiana na rizosfera como afetadas pela presença de *Collembola* (ENDLWEBER; SCHEU, 2006).

Lugo *et al.* (2007) analisaram o relacionamento entre a biodiversidade de bactérias e fungos micorrízicos arbusculares no solo da rizosfera de gramínea *Puna-native* considerando o gradiente de altitude e o tipo de metabolismo da gramínea (C3 e C4) como possíveis fatores inter-relacionados. Concluindo que, diferentes fatores do ambiente afetam a colonização e o número de fungos micorrízicos arbusculares na rizosfera. A altitude foi considerada um importante fator atuando na diversidade da rizosfera. Geralmente um incremento na altitude é acompanhado por um decréscimo de temperatura, afetando negativamente fungos de um modo geral e os fungos micorrízicos. Riqueza e abundância de fungos micorrízicos arbusculares mostraram uma correlação negativa com o incremento de altitude e queda de temperatura. Os autores supracitados não descobriram diferenças significativas entre gramíneas C3 e C4 para riqueza e abundância de fungos micorrízicos arbusculares na rizosfera.

Todos estes estudos corroboram com a hipótese de existência de relações intrínsecas entre microrganismos, micro, meso e macrofauna e raízes de plantas na rizosfera, relações estas que desencadeiam vários processos que podem ser benéficos para as plantas e para os outros organismos envolvidos.

Porém é necessário e importante o investimento em mais pesquisas e mais estudos nesta área para desvendar as particularidades destes vários processos envolvidos, muitos até hoje ainda não descobertos pela ciência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na rizosfera existem relações específicas entre microrganismos e seus predadores, entre os próprios organismos que compõem a biota do solo e entre eles e as raízes das plantas. Essas relações entre

a biota do solo e o sistema radicular muitas vezes podem ocasionar mudanças importantes na arquitetura das raízes e na absorção de nutrientes pelas mesmas.

As raízes emitem compostos sinais para se comunicar com os organismos do solo, incluindo a fauna. Estes sinais podem ser utilizados para atrair animais predadores de herbívoros de raiz, ou bacteriófagos predadores de bactérias malélicas na rizosfera, ou simplesmente para perturbar a comunicação potencial entre as bactérias prejudiciais do solo.

Mais exemplos serão descobertos no futuro, através de mais pesquisas inovadoras na área. Os desafios futuros serão identificar os fatores genéticos que determinam estas interações e determinar claramente como as interações entre os múltiplos simbioses de plantas ocorrem.

O estudo da ecologia da rizosfera pode ser considerado como um estudo multidisciplinar, que tende a desvendar mistérios que ocorrem dentro do solo e elucidar questões importantes que até agora não foram completamente elucidadas.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, L. B. **O uso da fauna edáfica como bio-indicadora de modificações ambientais em áreas degradadas.** Seropédica, 2000. 51p. Monografia – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

ASSAD, M.L.L. Fauna do solo. In: VARGAS, M.A.T; HUNGRIA, M. (Ed.) **Biologia dos solos dos cerrados.** Planaltina: EMBRAPA-CPAC. p.361-443, 1997.

AZPILICUETA, C. V. *et al.*. Estructura de la comunidad de nematodos del suelo bajo dos niveles de fertilización nitrogenada en alto valle de Rio Negro, **Argentina nematopica.** v. 38, n. 1, p. 75-86, 2008.

BONKOWSKI, M.; VILLENAVE, C.; GRIFFITHS, B. Rhizosphere fauna: the functional and structural diversity of intimate interactions of soil fauna with plant roots. **Plant Soil.** n.321, p.213–233, 2009.

BOWEN, G. D.; ROVIRA, A. D. The rizosphere, the hidden half. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAKI, U. (Ed.) **Plant Roots.** The Hidden Half. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 641-669.

BROWN, G.G. Papel das interações biológicas no funcionamento edáfico: Interações entre a fauna e os microrganismos do solo. In: FERTIBIO, Rio de Janeiro, 2002. **Anais...** Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.1-4, 2002.

BROWN, G.G., *et al.* Biodiversity and function of soil animals in Brazilian agroforestry systems. In: RODRIGUES, Gama. *etal*(Eds.) **Sistema Agrofloretais:** bases científicas para o desenvolvimento sustentável. Campos dos Goytacazes, RJ - Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, 2006. p. 217 – 242.

COELHO, L. F. *et al.* Interação de bactérias fluorescentes do gênero *Pseudomonas* e de *Bacillus* spp. com a rizosfera de diferentes plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v.31, p.1413-1420, 2007.

CORREIA, M.E.F.; OLIVEIRA, L.C.M. de. Fauna de solo: Aspectos gerais e metodológicos. **Seropédica.** 46p., 2000. (Embrapa Agrobiologia. Documento, 112).

ENDLWEBER, K.; SCHEU, S. Effects of Collembola on root properties of two competing ruderal plant species. **Soil Biology & Biochemistry.** v. 38, p. 2025–2031, 2006.

FOSTER, R. C. The ultrastructure of the rhizoplane and rhizosphere. **Annual Review of Phytopathology,** Palo Alto, v. 21, p. 211-234, 1986.

- FREITAS, J.R.; BANERJEE, M.R. ; GERMIDA, J.J. Phosphate-solubilizing rhizobacteria enhance the growth and yield but not phosphorus uptake of canola (*Brassica napus* L.). **Biol. Fert. Soils**, v.24, p.358-364, 1997.
- GIRACCA, E. M. N.*et al.* Levantamento da meso e macrofauna do solo na microbacia do Arroio Lino, Agudo/RS. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 9, n. 3, p. 257-261, jul-set, 2003.
- LAVELLE, P. Faunal activities and soil processes: adaptative strategies that determine ecosystem function. **Advances in Ecological Research**, New York, v.27, p. 93-132, 1997.
- LAVELLE, P. Ecological challenges for soil science. **Soil Science**, Washington, v.165, n. 1, p. 73-86, 2000.
- LIMA, S. S. de *et al.* Diversidade da macrofauna edáfica em agroflorestas de diferentes estádios sucessionais. **Revista Brasileira de Agroecologia**. v.2 n.2. 2007.
- LUGO, M. A.*et al.* Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Rhizospheric Bacteria Diversity Along an Altitudinal Gradient in South American Puna Grassland. **Microbiology Ecology**. 2007.
- MOREIRA, F. M. de S.; CARES, J. E. Biodiversidade do solo. **Boletim Informativo da SBCS**. jan-abr.2009. p. 13 – 14.
- OLIVEIRA, A. N. de; OLIVEIRA, L. A. de. Seasonal dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in plants of *Theobroma grandiflorum* schum and *paullinia cupana* mart. of an agroforestry system in central Amazonia, Amazonas state, Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**. v. 36, p.262-270, 2005.
- PEREIRA, J. C.; NEVES, M. C. P.; DROZDOWICZ, A. Influência da antibiose exercida por actinomicetos às estirpes de *Bradyrhizobium* spp., na nodulação da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, p. 99-108, 1999.
- PEREIRA, J. C. **Interações entre as Populações de Actinomicetos e outros Organismos na Rizosfera**. Seropédica – RJ : EMBRAPA AGROBIOLOGIA, 2000.
- PERRANDO, E. R. **Caracterização física e biológica do solo após aplicação de herbicidas em plantio de Acácia-Negra (*Acacia mearnsii* DE Wild) No Rio Grande do Sul**. 2008. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Maria.
- PRIMAVESI, A. **Manejo Ecológico do Solo**. São Paulo: Nobel, 2002. Cap 5. P.139 -163.
- ROSADO, A. S. Diversidade e ecologia de microrganismos do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICRO-BIOLOGIA DO SOLO, 5; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2, 2000, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2000.
- ROVEDDER, A. P.*et al.* Fauna edáfica em solo suscetível à arenização na região sudoeste do Rio Grande Do Sul. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.3, n.2, p. 87- 96, 2004.
- SILVA R.R.; SILVESTRE R. Riqueza da fauna de formigas (Hymenoptera: Formicidae) que habita as camadas superficiais do solo em Seara, Santa Catarina. **Papeis Avulsos Zoologia**. v.44, p.1–11, 2004.
- SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC, 1988. 236p.
- SOUTO, P. C.*et al.* Comunidade microbiana e mesofauna edáficas em solo sob caatinga no semi-árido da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 151-160, 2008.

