

## Resumo

As propriedades físico-químicas da rizosfera têm elevada estabilidade, que, associadas ao fornecimento constante de substratos orgânicos e fatores de crescimento, favorecem intensa atividade metabólica das populações, influenciando diretamente e positivamente o tempo de geração microbiano. O solo é um local de grande número e variedade de interações biológicas, incluindo a competição, a predação, o parasitismo, o comensalismo, o mutualismo e a forésia. As interações biológicas possuem a capacidade de sustentar a vida tanto das plantas como dos animais e outros seres que vivem no solo. 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, o objetivo dessa revisão foi demonstrar que há interação entre grupos de microorganismos com a rizosfera. As populações de microorganismos são importantes constituintes da microflora da rizosfera, seja pelos exsudados de raízes de plantas como fonte de carbono favorecidas pelo metabolismo destes microorganismos, 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 microorganismos benéficos, como diazotróficos e as micorrizas; e ainda pela formação de actinorrizas, onde é capaz de fixar nitrogênio atmosférico.

**Palavras-chave:** exsudados orgânicos; biocontrole; fitopatógenos

## Las interacciones entre los grupos de microorganismos en la rizosfera

### Resumen

Las propiedades fisicoquímicas de la rizosfera tienen una gran estabilidad, que, junto con el suministro constante de sustratos orgánicos y factores de crecimiento, favorecen una intensa actividad metabólica de las poblaciones, con influencia directa e positiva en el tiempo de generación microbiana. El suelo es un lugar de gran cantidad y variedad de interacciones biológicas, incluida la competición, depredación, parasitismo, comensalismo, mutualismo y el forésis. Las interacciones biológicas tienen la capacidad de sostener la vida de las plantas y los animales y otras criaturas que viven en el suelo. La comunidad microbiana en la rizosfera está representada por las poblaciones diversas de numerosos en un estado de equilibrio dinámico, lo que refleja las características físicas, químicas, biológicas, y sus relaciones. Por lo tanto, el propósito de esta revisión fue para demostrar que existe una interacción entre los grupos de microorganismos en la rizosfera. Las poblaciones de microorganismos son componentes importantes de la microflora de la rizosfera, sea por exsudados de raíces de plantas como fuente de carbono favorecido por el metabolismo de estos microorganismos, sea por la capacidad de sintetizar los antibióticos, lo que permite el uso de su capacidad antagonista en el control biológico de los patógenos, o por la influencia que promueve en lo establecimiento de microorganismos benéficos como las micorrizas y diazotróficas, y también por la formación de actinorrhizal, que es capaz de fijar nitrógeno atmosférico.

**Palabras llave:** exsudados orgânicos; control biológico; fitopatógenos

### Introdução

O solo é um meio natural complexo que influencia o crescimento, a multiplicação, a

sobrevivência e outras atividades dos organismos (FERNANDES JÚNIOR et al., 2002). Os microorganismos não vivem no solo na forma de culturas puras, mas sim, na forma de uma

1 Profa MSc. do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão (CCAA/UFMA) Chapadinha-MA, CEP: 65500-000, email: jussarasd@yahoo.com.br

2 Professor Adjunto do Departamento de Solos e Engenharia Rural, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, Areia-PB, CEP: 58397-000

3 Profa. Dra do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão (CCAA/UFMA) Chapadinha-MA, CEP: 65500-000, email: maryzelia@ig.com.br

4 Profa. MSc. do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão (CCAA/UFMA) Chapadinha-MA.

comunidade complexa, onde uma grande variedade de interações é desenvolvida. A rizosfera, região do solo sob influência direta da presença das raízes, com características distintas das do solo, é a região onde ocorre a maior parte das interações entre microrganismos e plantas (PEREIRA, 2000).

A rizosfera é um *habitat* 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 O<sub>2</sub> e liberação de CO<sub>2</sub>, modificando a atmosfera radicular; da absorção seletiva de íons nutritivos, diminuindo a concentração de sais; e do consumo de H<sub>2</sub>O, reduzindo a umidade, etc. (NIELSEN e ELSAS, 2001).

Os exsudatos difundem até distâncias distintas através do meio adjacente, representando um nicho bastante atraente para os microrganismos, onde os mais diversos tipos de interações podem ser observadas entre estes e as plantas, assim como entre os diversos membros da microbiota (CARDOSO e FREITAS, 1992).

A presença das raízes e as modificações físicas e químicas que elas produzem criam um ecossistema especializado, onde o crescimento das populações na comunidade microbiana pode ser beneficiado ou inibido. A influência das raízes sobre os microrganismos do solo é avaliada através da relação entre as densidades das populações microbianas, em diferentes distâncias da sua superfície (R), e do solo adjacente (S). Assim, o número de microrganismos de diversas espécies na rizosfera geralmente é maior que no solo livre de raízes e a relação R/S é, quase sempre, maior que 1 (CARDOSO e FREITAS, 1992). Tem-se observado que as populações rizosféricas podem ser 100 vezes superiores ao solo adjacente (SIQUEIRA e FRANCO, 1988).

As propriedades físico-químicas da rizosfera têm elevada estabilidade, que, associadas ao fornecimento constante de substratos orgânicos e fatores de crescimento, favorecem intensa atividade metabólica das populações, influenciando

diretamente e positivamente o tempo de geração microbiano. Espécies de *Pseudomonas* e *Bacillus* têm tempos de geração respectivamente 15 e 2,5 vezes menores na rizosfera do que no solo não rizosférico devido à maior disponibilidade de substratos. Por isso se considera que a rizosfera é o “paraíso dos microrganismos” (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002).

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 10<sup>6</sup> UFC cm<sup>-2</sup> 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 e 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 (micorrizosfera), induzindo a aumentos substanciais no número de microrganismos (FOSTER, 1986).

Geralmente, as densidades das populações fúngicas na rizosfera atingem 10<sup>7</sup> UFC g<sup>-1</sup> de solo rizosférico. 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 demais 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 são variáveis, podendo atingir 10<sup>6</sup> a 10<sup>7</sup> UFC g<sup>-1</sup> de solo

rizosférico seco (SIQUEIRA e FRANCO, 1988; PEREIRA et al., 1999a).

### Interações dos microrganismos na rizosfera

O solo é um local de grande número e variedade de interações biológicas, incluindo a competição, a predação, o parasitismo, o comensalismo, o mutualismo e a forésia. As interações biológicas têm um papel fundamental no funcionamento do solo, ou seja, na sua capacidade de sustentar a vida tanto das plantas como dos animais e outros seres que vivem no solo (BROWN, 2002).

Os microrganismos rizosféricos podem se dividir em oportunistas e estrategistas. Os oportunistas são pequenos, de crescimento rápido, têm alta capacidade competitiva e se localizam principalmente nas raízes mais novas. Os estrategistas são maiores, têm crescimento mais lento e têm alta longevidade, são especializados e predominam nas raízes mais velhas. Eles podem se dividir ainda em saprófitas, simbioses e patógenos (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002).

Para Melo (2001), os microrganismos do solo podem ser divididos em relação ao efeito que causam às plantas, em benéficos, prejudiciais ou neutros. Os prejudiciais são divididos, ainda, em patógenos menores e maiores, de acordo com os sintomas que causam às plantas. Os microrganismos benéficos, simbioses e não-simbioses podem influenciar o crescimento de plantas através do aumento na disponibilidade de nutrientes minerais, da produção de hormônios de crescimento como giberelinas e auxinas e da supressão de microrganismos deletérios da rizosfera de plantas.

No contexto de eventos que ocorrem na interface raiz-solo, a interação microrganismo-microrganismo é crucial para entendermos a característica do processo dinâmico da estabilidade da rizosfera e a manutenção da reciclagem de nutrientes, onde estes microrganismos que interagem com a rizosfera participam de vários ciclos, tais como: nitrogênio, carbono, fósforo e enxofre. Estes microrganismos interagem com a raiz das plantas, suprem nutrientes e tem uma participação ativa na nutrição e crescimento das plantas (ANDRADE, 1999 citado por BRASIL JÚNIOR, 2002).

Brasil Júnior et al. (2002) afirmam que uma

população microbiana que participa de uma mesma transformação bioquímica de compostos do meio ambiente, sendo de uma mesma população de microrganismos, é um grupo funcional. Os grupos funcionais concentram-se no solo da rizosfera onde possuem uma atividade importante em promover ou inibir o crescimento da planta de acordo com as condições ambientais.

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. Assim, a comunidade reflete seu *habitat*, em que a densidade de uma população microbiana aumenta até encontrar limitações de natureza abiótica e biótica. Desta forma, a existência de um microrganismo em um determinado tempo e lugar, resulta da sua evolução, da existência de fatores abióticos favoráveis ou desfavoráveis ao seu desenvolvimento e das interações benéficas e/ou deletérias exercidas por outras populações da comunidade microbiana. Portanto, as influências de naturezas diversas, provenientes das interações biológicas são determinantes das densidades e das atividades das populações na comunidade microbiana rizosférica (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002).

A composição química da rizosfera difere da composição química do volume do solo. As diferenças ocorrem em virtude principalmente, da absorção de água e de nutrientes, das mudanças no pH da rizosfera, da exsudação de ácidos orgânicos e da atividade microbiológica. Muitos desses processos podem influenciar a disponibilidade de nutrientes, tais como P, Fe, Mn, Zn, Cu e, também, a solubilidade de elementos tóxicos como o Al (BRACCINI et al., 2000).

### Interações com as bactérias em geral

Bactérias que crescem próximo ou associadas às raízes, sendo estimuladas pelos exsudados radiculares, são chamadas rizobactérias. Diversas rizobactérias tem a capacidade de promover o crescimento de plantas. Este efeito é atribuído à produção de substâncias reguladoras de crescimento, à produção de antibióticos e sideróforos, mineralização e solubilização de nutrientes como o fósforo e fixação de nitrogênio (CATTELAN e HARTEL, 2000).

Dentre os microorganismos benéficos, as rizobactérias, assim denominadas por colonizarem agressivamente o sistema radicular, merecem destaque. Essas bactérias podem ser simbiotes ou saprófitas de vida livre. Dentre as rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCPs), as bactérias do gênero *Pseudomonas* spp. são as mais bem estudadas. Isto se deve, principalmente, à sua grande capacidade de suprimir patógenos de solo, à sua ocorrência de forma natural e em elevadas populações, ao fato de serem nutricionalmente versáteis e possuírem habilidade de crescer numa ampla faixa de condições ambientais, além de produzirem uma grande variedade de antibióticos, sideróforos e hormônios de crescimento vegetal. As rizobactérias do grupo fluorescente (*P. fluorescens-putida*) possuem um versátil metabolismo, podendo utilizar vários substratos liberados pelas raízes e também moléculas xenobióticas que atingem a rizosfera (MELO, 2001).

As bactérias gram-positivas, como as do gênero *Bacillus*, têm sua parede composta por peptidoglicanos, com ou sem ácidos teicóicos e teicourônicos. As bactérias gram-negativas, como as do tipo *Pseudomonas*, têm cerca de 20% menos peptidoglicanos, entretanto, possuem membrana externa com fosfolipídeos e lipopolissacarídeos. Proteínas e lipoproteínas ocorrem em ambos os tipos de bactérias (VOSS e THOMAS, 2001).

O que tem levado a crer na possibilidade da produção de antibióticos no solo é que esse processo está concentrado em microsítios onde, tais como na rizosfera, a concentração de nutrientes e a competição é intensa. A produção de antibióticos tem sido associada à diferenciação na morfologia celular, tal como: a produção de esporos, ou ainda limitada ou impedida, por deficiências nutricionais, o que seria suprido pela rizosfera, dado a quantidade de nutrientes exsudados (OWEN e ZDOR, 2001).

Estudos têm evidenciado alterações nas populações bacterianas na rizosfera de milho, trigo, feijão e soja promovida por operações de uso e manejo do solo, aumentando as densidades das populações de actinomicetos e de bactérias resistentes a antibióticos (BALDANI et al., 1982; PEREIRA et al., 1999a). Nestes casos, o aumento da produção de antibióticos, provocado pelo acréscimo das populações de

actinomicetos na rizosfera, levou a uma pressão de seleção na comunidade microbiana, promovendo a permanência de genótipos com resistência aos antibióticos produzidos.

### Interações com rizóbio

Tem-se descrito problemas no estabelecimento de estirpes de rizóbio no campo, que podem estar associados à presença de microorganismos antagonistas (MARSCHNER et al., 2001). Diversos estudos têm evidenciado a inibição do crescimento de rizóbio “*in vitro*” por bactérias, fungos e por actinomicetos isolados de solos da rizosfera, existindo também dados a respeito do efeito inibitório dos actinomicetos na nodulação e fixação de nitrogênio (PEREIRA et al., 1999b).

A resistência elevada de vários isolados de *Bradyrhizobium japonicum*, oriundos de nódulos de plantas da amazônia e do cerrado brasileiro, aos antibióticos estreptomicina, penicilina, cloranfenicol e gentamicina, evidencia a presença de um ou mais antibióticos na rizosfera das plantas das quais foram isolados (DÖBEREINER et al., 1981). Posteriormente, evidências circunstanciais foram encontradas de que antibióticos são produzidos no sistema solo-planta, inibindo a formação de nódulos e que o provável sítio de produção é a rizosfera (Ramos et al., 1987). Estes resultados mostram a importância de estudos ecológicos das populações rizosféricas, visando avaliar o papel destas populações no estabelecimento de uma nodulação eficiente.

### Interações com micorrizas

A interação entre fungos micorrízicos e fungos fitopatogênicos do solo tem revelado que plantas micorrizadas, em geral, apresentam menores danos que as não micorrizadas, como resultado da diminuição na incidência da doença ou pela inibição do desenvolvimento do patógeno. Os mecanismos de ação envolvidos no aumento de tolerância da planta micorrizada a patógenos parecem estar relacionados: à alteração na qualidade e quantidade de nutrientes na rizosfera; à produção de aminoácidos e açúcares redutores; às alterações na fisiologia das raízes e aumento de espessura da parede de células corticais; à competição física por espaço na raiz; ao estímulo da

população rizosférica antagonista; à maior lignificação das raízes, e à maior absorção de nutrientes pela micorriza, principalmente fósforo, o que lhe confere maior vigor e crescimento.

O efeito protetor da micorriza contra fitopatógenos do solo ocorre quando ambos os microrganismos estão simultaneamente presente na rizosfera ou na raiz da planta, sendo que a pré-colonização da raiz pelo fungo micorrízico garante uma proteção mais eficiente (OLIVEIRA e TRINDADE, 2000).

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 (MIKOLA e KYTÖVIITA, 2002). Em potes de cultivo, tem-se observado aumentos significativos das populações de actinomicetos dos gêneros *Nocardia*, *Micromonospora* e *Streptomyces*, promovidos pelos fungos micorrízicos *Glomus fasciculatum*, *Gigaspora margarita*, *Acaulospora laevis* e *Sclerocystis dressi* (SECILIA e BAGYARAJ, 1987). Por outro lado, as populações de actinomicetos inibem a colonização de *Glomus etunicatum* e *Glomus macrocarpum* na rizosfera (PEREIRA et al., 1991).

Estes resultados podem estar associados às características das populações de actinomicetos como: produção de antibióticos e decomposição de quitina, principal componente da parede celular de fungos, inclusive os micorrízicos. Estas características aumentam a significância das populações de actinomicetos como um dos principais fatores biológicos que influenciam a colonização por populações de fungos micorrízicos na rizosfera.

Nem todos os fungos que habitam as raízes formam micorrizas. Muitos vivem na rizosfera ou crescem na superfície das raízes, sem qualquer comunicação ou efeitos sobre estas. Relações desse tipo são geralmente consideradas neutralistas e quanto ao critério locacional são chamadas associações peritróficas (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002).

### Actinorrizas

O termo actinorrizas é usado para denominar

os conjuntos simbióticos, capazes de fixar o nitrogênio molecular, compostos de algumas plantas não-leguminosas e dos actinomicetos. Desta forma, os actinomicetos também apresentam como ponto de grande interesse a associação simbiótica que forma com plantas pertencentes aos gêneros *Casuarina*, *Myrica*, *Alder*, *Eleagnus* entre outros (AKKERMANS et al., 1992), tendo como endossimbionte espécies do gênero *Frankia*, formando nódulos semelhantes aos da associação de rizóbio-leguminosa (actinorrizas).

A importância econômica da utilização das plantas não-leguminosas que nodulam com *Frankia* é maior para a silvicultura do que para as culturas agrícolas. Árvores como *Alnus* e *Casuarina* fornecem madeira, sendo que *Alnus* é largamente utilizado para colonizar solos alterados e com resíduos urbanos incorporados e em consórcio com essências florestais não fixadoras como *Fraxinus*, *Liquidambar*, *Pinus*, *Platanus*, *Populus* e *Pseudotsuga* (CARDOSO e FREITAS, 1992).

Além da simbiose, *Alnus* também fornece e libera compostos orgânicos para o solo que podem estimular o crescimento de microrganismos fixadores de vida livre. Plantas herbáceo-arbustivas associadas com *Frankia* como, por exemplo, *Ceanothus*, podem ser empregadas para o enriquecimento de solos florestais com deficiência de nitrogênio principalmente em consórcio (BAI et al., 2002). A produção de madeira, para serralherias e energia, e de biomassa, o controle da erosão e a revegetação de áreas semi-áridas e desérticas são outras aplicações das plantas actinorrízicas.

### Considerações finais

As populações de microrganismos são importantes constituintes da microflora da rizosfera, seja pelos exsudados de raízes de plantas como fonte de carbono favorecidas pelo metabolismo destes microrganismos, 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.

Apesar dessas evidências, deve-se destacar

que outros estudos ainda devem ser levados a termo, objetivando a compreensão da ecofisiologia destes microrganismos na rizosfera das plantas cultivadas e, conseqüentemente, incrementos na produtividade agrícola.

## **Referências**

Apresentadas no final da versão em inglês.