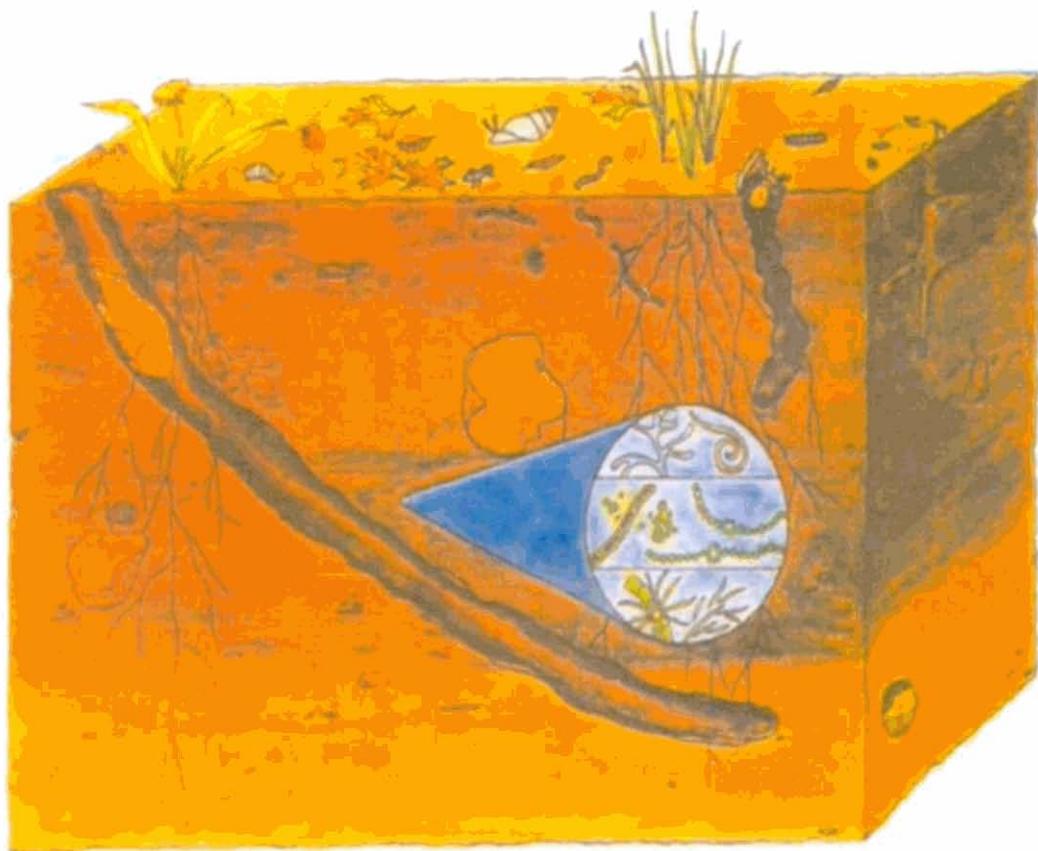


## Ecologia Microbiana do Solo



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Meio-Norte  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*



## ***Documentos 164***

# **Ecologia Microbiana do Solo**

*Luiz Fernando Carvalho Leite  
Ademir Sérgio Ferreira Araújo*

Embrapa Meio-Norte  
Teresina, PI  
2007

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Meio-Norte**

Av. Duque de Caxias, 5650, Bairro Buenos Aires

Caixa Postal: 01

CEP: 64006-220 Teresina, PI

Fone: (86) 3225-1141

Fax: (86) 3225-1142

Home page: [www.cpamn.embrapa.br](http://www.cpamn.embrapa.br)

E-mail: [sac@cpamn.embrapa.br](mailto:sac@cpamn.embrapa.br)

**Comitê de Publicações**

Presidente: *Hoston Tomás Santos do Nascimento*

Secretária: Executiva: *Ursula Maria Barros de Araújo*

Membros: *Paulo Sarmanho da Costa Lima, Humberto Umbelino de Sousa, Fábio Mendonça Diniz, Flávio Flavaro Blanco, Cristina Arzabe, Eugênio Celso Emérito de Araújo, Danielle Maria Machado Ribeiro Azevêdo e Carlos Antônio Ferreira de Sousa*

Supervisão editorial: *Lígia Maria Rolim Bandeira*

Revisão de texto: *Francisco de Assis David da Silva*

Normalização bibliográfica: *Orlane da Silva Maia*

Editoração eletrônica: *Erlândio Santos de Resende*

Foto da capa: Luiz Fernando Carvalho Leite

**1ª edição**

1ª impressão (2007): 300 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Embrapa Meio-Norte

---

Leite, Luiz Fernando Carvalho.

Ecologia microbiana do solo / Luiz Fernando Carvalho Leite, Ademir Sérgio Araújo. - Teresina : Embrapa Meio-Norte, 2007.

24 p. ; 21 cm. - (Documentos / Embrapa Meio-Norte, ISSN 0104-866X 164).

1. Microbiologia do solo. 2. Microrganismo. 3. Condição ambiental. I. Araújo, Ademir Sérgio Ferreira. II. Embrapa Meio-Norte. III. Título. IV. Série.

CDD 631.46 (21. ed.)

---

© Embrapa, 2007

# **Autores**

## **Luiz Fernando Carvalho Leite**

Engenheiro agrônomo, D.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Meio-Norte, Caixa Postal 01, CEP 64.006-220, Teresina, PI.  
*luizf@cpamn.embrapa.br*

## **Ademir Sérgio Ferreira Araújo**

Engenheiro agrônomo, D.Sc. em Agronomia, Universidade Federal do Piauí - UFPI/CCA  
*asfaruag@cpamn.embrapa.br*

# **Apresentação**

O solo é um recurso natural vital para o funcionamento do ecossistema terrestre e representa um balanço entre os fatores físicos, químicos e biológicos. A fração biológica é composta, principalmente, por microrganismos (bactérias e fungos), além de minhocas, insetos e nematóides. Os microrganismos realizam diversas funções essenciais para o funcionamento do solo, tais como decomposição da matéria orgânica, liberação de nutrientes em formas disponíveis às plantas e degradação de substâncias tóxicas. Além disso, formam associações simbióticas com as raízes das plantas, atuam no controle biológico de patógenos, influenciam na solubilização de minerais e contribuem para a estruturação e agregação do solo.

A ecologia microbiana do solo estuda os processos microbiológicos e bioquímicos de importância agrícola e ambiental, relacionando os fatores bióticos e abióticos que influenciam esses processos. A Embrapa Meio-Norte está inserida nesse tema, ao participar do grupo de pesquisa “Ecologia Microbiana do Solo da Região Meio Norte” (CNPq), que tem estudado os principais processos microbiológicos e bioquímicos do solo da região Meio-Norte.

Esta obra relata os fundamentos sobre a ecologia microbiana do solo e mostra os principais resultados de pesquisas sobre o assunto, observados nos solos da região Meio-Norte. Trata-se de uma publicação de extrema importância para o entendimento da ecologia microbiana do solo e seus aspectos importantes para o correto manejo do solo com vista à sustentabilidade ambiental.

*Valdemício Ferreira de Sousa*  
Chefe-Geral da Embrapa Meio-Norte

# Sumário

<b>Ecologia Microbiana do Solo</b> .....	9
<b>Conceitos</b> .....	9
<b>Fatores abióticos que afetam os microrganismos</b> .....	10
Temperatura do solo .....	10
pH do solo .....	11
<b>Fontes de energia e substratos orgânicos</b> .....	12
Nutrientes minerais .....	14
<b>Práticas de manejo e cultivo dos solos</b> .....	14
<b>Interação de microrganismos</b> .....	19
<b>Interação microbianas de importância para a produção agrícola</b> .....	21
<b>Referências</b> .....	23

# Ecologia Microbiana do Solo

---

*Luiz Fernando Carvalho Leite*  
*Ademir Sérgio Ferreira Araújo*

## Conceitos

O solo é um recurso natural vital para o funcionamento do ecossistema terrestre e representa um balanço entre as frações líquida, gasosa e sólida. A fração líquida é composta por água e materiais dissolvidos, a fração gasosa, por gases atmosféricos em diferentes proporções e a fração sólida, por minerais, raízes, macro e microrganismos metabolicamente ativos ou inativos e matéria orgânica em vários estádios de decomposição (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A fração sólida do solo representa cerca de 50 % do volume total do solo, sendo composta de minerais (cerca de 45 %) e matéria orgânica (1 % - 5 %). A matéria orgânica pode ser separada em componente morto e componente vivo. O componente morto pode atingir até 98 % do carbono orgânico total (COT) e pode ser separado em fração leve ou matéria macromorgânica e fração pesada, que contém húmus. Já, o componente vivo raramente ultrapassa 4 % do COT e pode ser dividido em três compartimentos: raízes das plantas, macrorganismos e microrganismos.

A atividade biológica é altamente concentrada nas primeiras camadas do solo, na profundidade entre 1 cm a 30 cm. Nessas camadas, os microrganismos ocupam uma fração menor que 0,5 % do volume total do solo e representam menos que 10 % da matéria orgânica (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Os microrganismos realizam diversas funções

essenciais para o funcionamento do solo, tais como, decomposição da matéria orgânica, liberação de nutrientes em formas disponíveis às plantas e degradação de substâncias tóxicas. Além disso, formam associações simbióticas com as raízes das plantas e atuam no controle biológico de patógenos, influenciam a solubilização de minerais e contribuem para a estruturação e agregação do solo (ARAÚJO, 2007).

A ecologia microbiana estuda as inter-relações dos microrganismos com o seu ambiente. A ecologia microbiana do solo trata das relações dos microrganismos do solo com os fatores abióticos (ambientais) e bióticos (interação com outros organismos).

## **Fatores abióticos que afetam os microrganismos**

A presença de um microrganismo em determinado solo é função das condições ambientais dominantes e dos limites da sua bagagem genética. Dessa forma, existem fatores ambientais (abióticos) que limitam a sobrevivência e a atividade dos microrganismos do solo. Os principais fatores abióticos do solo são a temperatura, o pH, a salinidade, as fontes de energia e substratos orgânicos, os nutrientes e os elementos tóxicos. Além disso, há os efeitos do impacto antropogênico sobre a microbiota do solo, tais como, mudança no manejo e cultivo do solo.

### **Temperatura do solo**

A temperatura é um fator determinante na distribuição e atividade dos microrganismos do solo. Em relação à atividade microbiana, a temperatura afeta diretamente a fisiologia dos microrganismos e indiretamente exerce mudanças no ciclo de nutrientes e na atividade da água. Os microrganismos classificam-se, de acordo com a temperatura ótima de atividade e crescimento, em psicrófilos, mesófilos e termófilos. Na Tabela 1, está a classificação dos microrganismos de acordo com a temperatura.

**Tabela 1.** Classificação dos microrganismos do solo de acordo com a temperatura.

Classificação	Faixa de tolerância (°C)	Temperatura ótima(°C)
Psicrófilo	-5 a 20	15
Mesófilo	15 a 45	37
Termófilo moderado	40 a 70	60
Termófilo extremo	65 a 95	85

Fonte: Van Elsas et al. (2006), adaptada pelos autores.

Alguns processos microbianos importantes do ciclo do N são afetados pela temperatura, tais como, a amonificação e a nitrificação. Os microrganismos nitrificadores são sensíveis à baixa temperatura e nessas condições a nitrificação é afetada.

## pH do solo

O pH do solo representa importante determinante para a atividade e distribuição dos microrganismos. O pH de um solo ou de um microssítio dentro do solo é dependente de um grande número de fatores e processos. O material de formação do solo, o grau de adubação, a exportação de bases trocáveis pelas plantas, a atividade microbiana de decomposição da matéria orgânica, entre outros, contribuem para a modificação do pH do solo.

Em relação ao pH do solo, os microrganismos classificam-se em:

- Insensitivos ou indiferentes – toleram uma ampla faixa de pH.
- Neutrófilos – não toleram acidez ou alcalinidade.
- Acidófilos – crescem melhor em condições ácidas.
- Basófilos – crescem melhor em condições alcalinas.

Geralmente, os fungos são mais adaptados a valores de pH menores que 5,0 (acidófilos) e as bactérias e os actinomicetos, a valores de pH entre 6,0 e 8,0 (neutrófilos e basófilos). Na Fig. 1 tem-se os valores de pH críticos para os microrganismos e os processos microbiológicos e bioquímicos.

PROCESSO	pH	MICROORGANISMOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nitrificação</li> <li>• Nodulação e FBN</li> <li>• Sarna da batata</li> </ul>	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Derris, azotobacter</li> <li>• Bactérias em geral</li> <li>• Glomus moscas rizopogon</li> <li>• Streptomyces scabies</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desnitrificação</li> <li>• Micorrizas arbusculares</li> </ul>	5,5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rhizobium</li> <li>• Maioria dos fungos MA</li> <li>• Estrutura da comunidade</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Decomposição</li> <li>• Amonificação</li> <li>• Respiração do solo</li> </ul>	4,0	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bradyrhizobium</li> <li>• Beijerinckia</li> <li>• Fungos ectomicorrizicos</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fermentação láctica</li> <li>• Enzimas do solo</li> <li>• Formação da pirita</li> <li>• Oxidação do enxofre</li> </ul>	3,0	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pisolithus tinctorius</li> <li>• Timbacillus sp</li> <li>• Acetobacter diazotrophicus</li> <li>• Autotróficos oxidantes</li> </ul>

**Fig. 1.** Microrganismos e processos biológicos afetados pelo pH do solo. Fonte: Moreira e Siqueira (2006).

O pH influencia a disponibilidade e toxicidade de nutrientes minerais, tais como, Fe, Mn e Al e dessa forma pode prejudicar a microbiota do solo. Em solos ácidos, ocorre a toxicidade por Mn e Al, enquanto em solos alcalinos esses elementos estão indisponíveis.

## Fontes de energia e substratos orgânicos

Diversos tipos de substratos orgânicos estão presentes no solo. Esses substratos são compostos por resíduos animais e vegetais em diferentes estádios de decomposição. Além disso, a aplicação de esterco e compostos orgânicos ao solo favorece a atividade e o desenvolvimento da microbiota. De outro lado, a aplicação de compostos orgânicos xenobióticos (pesticidas e poluentes) pode ocasionar prejuízos aos microrganismos e ao processo bioquímico.

Em relação ao uso de fontes de energia e substratos, os microrganismos podem ser classificados em quimioautotróficos (utilizam energia de substâncias inorgânicas) e heterotróficos (utilizam energia de compostos orgânicos). A atividade microbiana no solo é predominantemente heterotrófica e a velocidade de decomposição dos substratos orgânicos depende da complexidade de sua cadeia carbônica. Dessa forma, substratos contendo lignina (complexa cadeia de carbono) são mais resistentes à decomposição, ao passo que substratos contendo proteínas e glicose (cadeias simples de carbono) são mais rapidamente decompostos (Fig. 2). Além desses compostos, é importante conhecer as concentrações de N e polifenóis. Quando a relação lignina/N ou polifenóis/N do material vegetal aumenta, a taxa de decomposição do material diminui e a disponibilidade de N em curto prazo pode diminuir.

Portanto, o conhecimento da composição química dos substratos e do processo de decomposição pelos microrganismos é considerado essencial para a definição das culturas a serem adotadas, especialmente aquelas indicadas para cobertura. As leguminosas, via de regra, têm sido escolhidas, comparativamente àquelas espécies não-leguminosas, especialmente quando o aumento da disponibilidade de nutrientes é o principal objetivo. Isto é decorrente das espécies leguminosas geralmente possuírem maiores teores de N e menores de C do que espécies não-leguminosas e por isso, promoverem mineralização mais rápida de N quando aplicado ao solo.

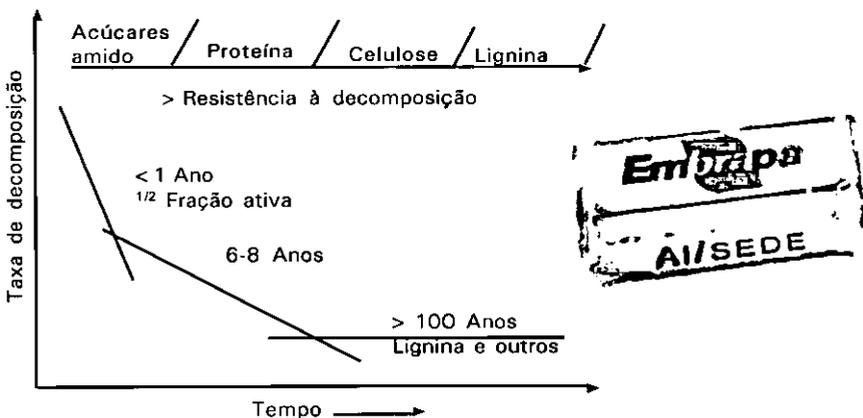


Fig. 2. Cinética da decomposição de resíduos vegetais no solo.

Os fungos apresentam complexo enzimático mais adaptado à decomposição da lignina, enquanto as bactérias decompõem os substratos contendo celulose, glicose e proteína.

## **Nutrientes minerais**

O solo é um reservatório de nutrientes essenciais aos microrganismos. Dessa forma, vários elementos minerais fazem parte da biomassa microbiana e são importantes para reações metabólicas. Os principais elementos são o C, H, O, N, P e S. Esses nutrientes fazem parte dos ciclos biogeoquímicos, mediados por microrganismos. Alguns processos fisiológicos e bioquímicos nos microrganismos são mediados por nutrientes minerais, tais como (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006):

- a) Síntese de enzimas.
- b) Estabilização da parede celular.
- c) Estrutura do DNA e RNA.
- d) Divisão celular.
- e) Ligação de fagos à célula.
- f) mobilidade.
- g) Interações simbióticas.

Além disso, a dinâmica dos ciclos biogeoquímicos é dependente das relações C/N, C/P e C/S. Assim, a adição de nutrientes minerais, via adubação, favorece o desenvolvimento e a atividade da microbiota do solo.

## **Práticas de manejo e cultivo dos solos**

A atividade humana pode ocasionar modificações nos fatores físicos e químicos do solo, seja pela adição ou remoção de elementos (adubação, calagem e exportação pelas colheitas), seja por práticas de cultivo (plantio convencional ou direto, sistema orgânico ou convencional), que causarão impacto nos microrganismos do solo. De um lado, as adubações química e

orgânica aumentam a atividade e a biomassa microbiana (ARAÚJO; MONTEIRO; CARVALHO, 2007). De outro, a nodulação, fixação biológica do nitrogênio, e a micorrização são prejudicadas com a adubação nitrogenada e fosfatada, respectivamente (ARAÚJO et al. 2001a,b; XAVIER et al., 2006). Além disso, a aplicação de pesticidas, produtos químicos e poluentes ao solo tem ocasionado mudanças na microbiota do solo (ARAÚJO et al., 2006; ARAÚJO; MONTEIRO; ABARKELI, 2003; ARAÚJO; MONTEIRO; CARVALHO, 2007; ARAÚJO; SANTOS; MONTEIRO, 2007; TEIXEIRA et al., 2006).

A aplicação de pesticidas ao solo pode ocasionar benefícios ou prejuízos à microbiota do solo, dependendo da composição da molécula e da sua persistência. Em um trabalho avaliando o efeito do herbicida glifosato sobre a microbiota do solo, Araújo, Monteiro e Abarkeli (2003) observaram que, com a aplicação do produto, houve aumento do número de fungos e actinomicetos, enquanto as bactérias não foram afetadas (Tabela 2).

**Tabela 2.** Tipo e número de microrganismos do solo antes (0 dia) e depois (32 dias) da aplicação de glifosato em solo sem e com histórico de seis anos de aplicação do produto.

Microorganismo	0 dia (UFC g <sup>-1</sup> de solo) dias	32 dias (UFC g <sup>-1</sup> de solo)
<b>Bactérias</b>		
Solo sem histórico	0,5 x 10 <sup>5</sup> a	1,8 x 10 <sup>5</sup> a
Solo com histórico (6 anos)	0,5 x 10 <sup>5</sup> a	7,0 x 10 <sup>5</sup> b
<b>Fungos</b>		
Solo sem histórico	1,0 x 10 <sup>4</sup> b	4,5 x 10 <sup>4</sup> a
Solo com histórico (6 anos)	0,5 x 10 <sup>4</sup> b	3,5 x 10 <sup>4</sup> a
<b>Actinomicetos</b>		
Solo sem histórico	0,2 x 10 <sup>6</sup> b	5,4 x 10 <sup>6</sup> a
Solo com histórico (6 anos)	0,4 x 10 <sup>6</sup> b	2,4 x 10 <sup>6</sup> a

Fonte: Araújo, Monteiro e Abarkeli (2003), adaptada pelos autores.

Recentemente, têm-se utilizado resíduos urbanos e industriais no solo como forma de prover as plantas de nutrientes, além de atuar como condicionadores de solo em razão do alto conteúdo de matéria orgânica. Entretanto, esses resíduos contêm metais pesados e outros poluentes que podem prejudicar os microrganismos e seu processo biológico. Araújo e Monteiro (2006) avaliaram o efeito do lodo têxtil compostado e não compostado sobre a biomassa microbiana e observaram que a compostagem favoreceu a diminuição da toxicidade do lodo têxtil. A biomassa microbiana é uma medida essencial em estudos de microbiologia do solo, pois controla a decomposição e o acúmulo de matéria orgânica no ambiente, regulando o fluxo de matéria e energia no solo, assim como a dinâmica dos nutrientes minerais. Ela varia intensamente com a disponibilidade de C, N, P e S, umidade, aeração, pH, mineralogia e textura do solo. A aplicação do lodo têxtil compostado trouxe benefícios no aumento do número de bactérias e fungos do solo pelo estímulo proporcionado pela matéria orgânica presente no resíduo (Tabela 3).

**Tabela 3.** Carbono da biomassa microbiana e número de bactérias e fungos em solo com e sem aplicação de lodo têxtil compostado e não compostado.

Variável	15 dias	60 dias
<b>Carbono microbiano (mg C kg<sup>-1</sup>)</b>		
Controle	272 c	301 a
Lodo têxtil	302 b	190 c
Lodo têxtil compostado	396 a	218 b
<b>Bactérias (UFC g<sup>-1</sup> solo)</b>		
Controle	2,3 x 10 <sup>6</sup> b	3,0 x 10 <sup>6</sup>
Lodo têxtil	2,0 x 10 <sup>6</sup> b	3,2 x 10 <sup>6</sup>
Lodo têxtil compostado	8,1 x 10 <sup>6</sup> a	9,0 x 10 <sup>6</sup> a
<b>Fungos (UFC g<sup>-1</sup> solo)</b>		
Controle	1,7 x 10 <sup>4</sup> a	2,8 x 10 <sup>4</sup>
Lodo têxtil	1,1 x 10 <sup>4</sup> a	1,6 x 10 <sup>4</sup> a
Lodo têxtil compostado	2,1 x 10 <sup>4</sup> a	3,6 x 10 <sup>4</sup> a

Fonte: Araújo e Monteiro (2006), adaptada pelos autores.

Os diferentes sistemas de manejo ocasionam mudanças nos microrganismos e seus processos biológicos. Essas mudanças foram verificadas por D'Andrea et al. (2002) na região do Cerrado do Estado de Goiás e por Santos et al. (2004) no Rio Grande do Sul. D'Andrea et al. (2002) observaram redução dos teores de carbono microbiano com a adoção de pastagem e plantio convencional, comparados com plantio direto e mata nativa.

O mesmo comportamento foi observado por Santos et al. (2004), ao verificarem que o plantio direto, comparado ao plantio convencional, proporcionou aumentos na atividade e biomassa microbiana do solo. Os microrganismos do solo no sistema orgânico aumentaram o conteúdo de matéria orgânica, a biomassa e a atividade microbiana, melhorando a qualidade e produtividade do solo (Tabela 4). Leite et al. (2007), em estudo realizado em Jatobá do Piauí, PI, observaram aumento nos estoques de carbono da biomassa microbiana quando foram usados adubações orgânica e mineral para a cultura da melancia sob palha de carnaúba e irrigação (Tabela 5).

**Tabela 4.** Respiração basal, carbono microbiano ( $C_{mic}$ ) e quociente microbiano ( $C_{mic}-C_{org}$ ) em solo sob sistemas convencional e orgânico.

Sistema	Respiração basal ( $\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}\text{ d}^{-1}$ )	$C_{mic}$ ( $\mu\text{g g}^{-1}\text{ soil}$ )	$C_{mic}-C_{org}$ (%)
CNV	144.4 b <sup>a</sup>	64.0 c	0.5 b
ORG6	157.3 b	97.1 b	0.8 a
ORG12	230.9 a	121.2 a	1.1 a
ORG18	227.4 a	129.4 a	0.9 a
ORG24	226.3 a	142.5 a	0.8 a

CNV – sistema convencional; ORG6 – sistema orgânico (6 meses); ORG12 – sistema orgânico (12 meses); ORG18 – sistema orgânico (18 meses); ORG24 – sistema orgânico (24 meses).

Araújo et al. (2006) e Teixeira et al. (2006) avaliaram o efeito do lodo de curtume sobre a nodulação por *Rhizobium* em leguminosas arbóreas (leucena e algaroba) e granífera (feijão-caupi) e observaram que a aplicação do resíduo, em baixas doses, não provocou efeitos deletérios sobre a nodulação, e sim melhoror a fertilidade do solo.

**Tabela 5.** Estoques de carbono orgânico total (COT), carbono da biomassa microbiana (C<sub>mic</sub>) e carbono da fração leve (C<sub>FL</sub>) em um Latossolo Vermelho-Amarelo, sob sistemas agroecológicos e convencionais, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm<sup>(1)</sup>.

Sistema <sup>(2)</sup>	COT	C <sub>mic</sub>	C <sub>FL</sub>	C <sub>mic</sub> /COT	C <sub>FL</sub> /COT	C <sub>mic</sub> /C <sub>FL</sub>
	Mg ha <sup>-1</sup>			%		
0-10 cm						
FN	8,65	0,18	0,60	2,08	6,95	0,31
PD/ORG/SEQ	13,06a	0,31ab	4,25a	2,03b	32,36a	0,08c
PD/QUI/SEQ	11,41ab	0,22bc	2,70ab	2,09b	23,95a	0,09bc
PD/QUI/ORG/IRRI	8,10bc	0,38a	2,30bc	4,71a	29,33a	0,17b
PC/QUI/SEQ	5,10c	0,15c	0,56b	2,92b	11,62b	0,27a
10-20 cm						
FN	6,47	0,33	0,45	5,30	7,53	0,75
PD/ORG/SEQ	7,32a	0,24a	2,29a	3,21a	32,36a	0,10b
PD/QUI/SEQ	7,22a	0,11b	1,67b	1,52c	23,95a	0,07b
PD/QUI/ORG/IRRI	6,25a	0,16ab	1,82ab	2,55b	29,33a	0,09b
PC/QUI/SEQ	5,72a	0,16ab	0,56c	2,79b	9,91b	0,30a

<sup>(1)</sup>Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, em cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(2)</sup> FN: floresta nativa; PD/ORG/SEQ: plantio direto com adubação orgânica em sequeiro; PD/QUI/SEQ: plantio direto com adubação química em sequeiro; PD/QUI/ORG/IRRI: plantio direto com adubações química e orgânica e irrigada por gotejamento; PC/QUI/SEQ: plantio convencional com adubação química em sequeiro.

Fonte: Leite et al. (2007).

O efeito do indutor de florescimento paclobutrazol (PBZ), aplicado diretamente ao solo, foi avaliado em um trabalho de Santos et al. (2007). Os autores aplicaram o produto ao solo e estudaram os efeitos sobre a atividade e biomassa microbiana. Os resultados mostraram que o PBZ ocasionou efeitos negativos sobre as variáveis analisadas (Tabela 6).

**Tabela 6.** Carbono microbiano e respiração basal do solo com e sem aplicação de paclobutrazol.

Variável	3 dias	30 dias
Carbono microbiano (mg C kg <sup>-1</sup> )		
Solo sem PBZ	107 b	249 a
Solo com PBZ (8 ug g <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup>	204 a	75 b
Respiração basal (mg CO <sub>2</sub> -C kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )		
Solo sem PBZ	14,6 a	15,9 b
Solo com PBZ (8 ug g <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup>	81,4 a	22,8 a

Fonte: Santos et al. (2007).

## Interação de microrganismos

As interações microbianas no solo são classificadas de acordo com o tipo de organismos participantes. Essas interações podem ser entre microrganismo-microrganismo, microrganismo-planta e microrganismo-outros organismos. Por exemplo, as bactérias podem interagir com outra bactéria (bactéria-bactéria), com fungos (bactérias-fungos), com protozoários (bactéria-protozoário) e com plantas (bactéria-plantas). Na Tabela 7, estão sumarizados exemplos de interações entre microrganismos e outros organismos. Essa tabela trata de diversas relações entre microrganismos e outros organismos, entretanto, há tradicionalmente uma classificação de interações microbianas. As principais relações entre organismos podem ser neutras, benéficas e malélicas.

Tabela 7. Interações microbianas no solo.

Microrganismo	Interação com...	Tipo	Exemplo
Bactérias	Bactérias	Sintrofismo	<i>P. maculans/Propionibacterium</i>  <i>Rhizobium/Bacillus</i>
	Fungos	Antagonismo	<i>P. fluorescens</i> produzindo 2,4 DAPG sobre bactérias.
	Plantas	Simbiose	<i>Rhizobium</i> e leguminosas
		Parasitismo	<i>Agrobacterium</i> formando tumor em raízes
	Promoção de crescimento	Rizobactérias promotoras de crescimento em plantas	
Fungos	Bactérias	Predação	Fungos ( <i>Pleorotus ostreatus</i> ) usando bactérias como nutrientes
	Fungos	Antagonismo	<i>Trichoderma</i> antagonista de outros fungos
	Plantas	Patogênico	Fungos causadores de doenças em plantas.
		Simbiose	Micorrizas

Fonte: Van Elsas et al. (2006), adaptada pelos autores.

A principal relação neutra é denominada de neutralismo, sendo caracterizada pela ausência de interações entre microrganismos. Por exemplo, populações microbianas podem estar espacialmente distantes (nichos diferentes) ou em baixa densidade, não ocorrendo contato com outras.

As relações benéficas são classificadas por comensalismo, mutualismo e simbiose. O comensalismo é uma interação unidirecional entre microrganismos, em que uma população é beneficiada e a outra não é afetada. O mutualismo é uma interação em que ocorrem benefícios mútuos entre os parceiros. A simbiose é um tipo de mutualismo, entretanto, a interação é obrigatória. Por exemplo, o processo de fixação biológica do  $N_2$  em virtude de uma simbiose entre o *Rhizobium* e as leguminosas. As micorrizas são outro exemplo de simbiose entre fungos e plantas superiores.

As relações malélicas são classificadas em amensalismo, competição, parasitismo e predação. O amensalismo (antagonismo) é a interação em que um grupo de microrganismo limita a sobrevivência do outro. Por exemplo, um grupo de microrganismo produz uma substância que inibe o crescimento do outro.

A competição é o processo em que uma população de microrganismo compete com outra por um fator limitante (por exemplo, nutrientes). O parasitismo e a predação são processos em que um microrganismo obtém uma vantagem às expensas (parasitismo) ou pelo consumo (predação) do outro.

## **Interações microbianas de importância para a produção agrícola**

As interações microbianas no solo podem ser importantes para os diferentes processos microbiológicos e bioquímicos e proporcionar aumento na produção de alimentos, além da conservação da qualidade ambiental. Vários trabalhos estão sendo realizados mostrando os efeitos benéficos das interações microbianas para o aumento da produtividade agrícola e qualidade ambiental.

A associação micorrízica apresenta grande potencial de exploração na agricultura em razão do aumento da capacidade de absorção de P e de outros nutrientes (ARAÚJO; BURITY; LYRA, 2001a). Além disso, a interação micorrizas-Rhizobium pode auxiliar as leguminosas nos requerimentos energéticos para a nodulação e fixação de nitrogênio, sobretudo porque as plantas micorrizadas absorvem o P do solo que é utilizado no processo de fixação. Araújo, Burity e Lyra (2001b) avaliaram a influência da dupla inoculação Rhizobium e micorrizas na nodulação e crescimento de leucena e observaram que a presença das micorrizas aumentou significativamente o número de nódulos em leucena (Fig. 3).

Os autores concluíram que a dupla inoculação, bactéria e micorrizas, contribuiu de forma direta para a nodulação e fixação de nitrogênio pela leucena, incrementando o crescimento da planta.

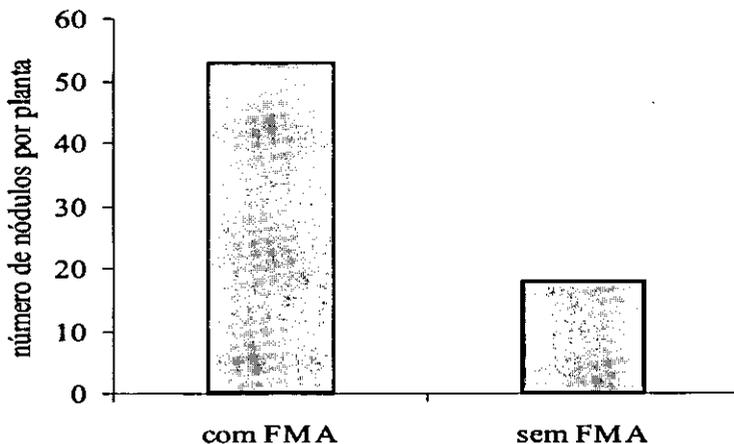


Fig. 3. Efeito da associação *Rhizobium* e micorrizas no número de nódulos em leucena aos 90 dias.

Fonte: Araújo, Burity e Lyra (2001b).

Outra interação de importância agrícola é referente à associação entre bactérias promotoras de crescimento em plantas (*Bacillus*, *Pseudomonas*) e o *Rhizobium*. Essa interação tem proporcionado efeitos positivos na nodulação, fixação de nitrogênio e crescimentos das leguminosas. O *Bacillus subtilis* pode favorecer o desempenho simbiótico do rizóbio pelos efeitos na inibição de fitopatógenos ou pela exsudação de fitormônios. Nesse sentido, Araújo e Hungria (1999) estudaram a dupla inoculação *Bacillus subtilis* e *Bradyrhizobium japonicum/elkanii* em soja e observaram que houve um aumento da nodulação e produtividade de grãos com o uso desses microrganismos conjuntamente. A associação *Bacillus subtilis* e *Bradyrhizobium* sp. proporcionou um incremento da nodulação e crescimento de mudas de leucena. Dessa forma, essa associação pode proporcionar rápido desenvolvimento e, provavelmente, um maior pegamento de mudas de leguminosas arbóreas.

## Referências

- ARAÚJO, A. S. F. Ecologia microbiana do solo. *Sapiência*, Teresina, v. 4, n. 12, p. 3, jul. 2007.
- ARAÚJO, A. S. F.; BURITY, H. A.; LYRA, M. C. C. P. Influência de diferentes níveis de fósforo na associação *Rhizobium* – fungo micorrízico arbuscular em algaroba (*Prosopis juliflora*). *Revista Científica Rural*, Bagé, v. 6, n. 2, p. 1-7, 2001b.
- ARAÚJO, A. S. F.; BURITY, H. A.; LYRA, M. C. C. P. Influência de diferentes níveis de nitrogênio e fósforo em leucena inoculada com *Rhizobium* e fungo micorrízico arbuscular. *Ecosistema*, Espírito Santo do Pinhal, v. 26, n. 1, p. 35-38, 2001a.
- ARAÚJO, A. S. F.; CARVALHO, A. J. S.; SANTOS, F. J. S.; CARVALHO, E. M. S.; SANTOS, V. B. Growth and nodulation of *Leucaena* and *Prosopis* seedlings in soil plus tannery sludge. *Caatinga*, Mossoró, v. 19, n. 1, p. 20-24, 2006.
- ARAÚJO, F. F.; HUNGRIA, M. Nodulação e rendimento de soja co-infectada com *Bacillus subtilis* e *Bradyrhizobium japonicum*/B. *elkanii*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 9, p. 1633-1643, 1999.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, jul./set. 2007.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Microbial biomass and activity in a Brazilian soil amended with untreated and composted textile sludge. *Chemosphere*, Oxford, v.64, n. 6, p.1043-1046, Aug. 2006.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R.; ABARKELI, R. B. Effect of glyphosate on the microbial activity of two Brazilian soils. *Chemosphere*, Oxford, v. 52, n. 5, p. 799-804, 2003.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R.; CARVALHO, E. M. S. Effect of composted textile sludge on growth, nodulation and nitrogen fixation of soybean and cowpea. *Bioresource Technology*, London, v. 98, n. 5, p. 1028-1032, 2007.

D'ANDREA, A. F. D.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos bioquímicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 913-923, 2002.

LEITE, L. F. de C.; FREITAS, R. C. A.; OLIVEIRA, F. C.; COSTA, D. B.; LEMOS, J. O.; SOUSA, A. C. M. Sistemas com base ecológica e suas implicações nos comportamentos de carbono de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com melancia no norte do Piauí. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 7., 2007, Florianópolis. **As substâncias húmicas podem ajudar a salvar o planeta terra?**: livro de resumos. Florianópolis: UFSC, 2007. p. 27

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: EDUFLA, 2006. 729 p.

SANTOS, V.; GONÇALVES, I. C. R.; CARVALHO, E. M. S.; ARAÚJO, A. S. F.; CARNEIRO, R. F. V. Effect of paclobutrazol on the microbial biomass in a Brazilian soil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira: anais**. Porto Alegre: SBCS, 2007. 1 CD-ROM.

SANTOS, V. B.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. da S.; SILVA, D. G. da. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v. 10, n. 3, p. 333-338, jul./set. 2004.

TEIXEIRA, K. R. G.; GONÇALVES FILHO, L. A. R.; CARVALHO, E. M. S.; ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, V. B. Efeito da adição de lodo de curtume na fertilidade do solo, nodulação e rendimento de matéria seca do caupi. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1071-1076, nov./dez. 2006.

VAN ELSAS, J. D.; JANSSON, J. K.; TREVORS, J. T. **Modern soil microbiology**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2006. 672 p.

XAVIER, T. F.; ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, V. B.; CAMPOS, F. L. Adubação nitrogenada sobre a nodulação do Feijão-caupi. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 6., 2006, Teresina. **Tecnologias para o agronegócio: anais**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. 1 CD-ROM. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 121).

