



CASA DO PRODUTOR RURAL
EBOOKS

BIOLOGIA DO SOLO APLICADA À AGRICULTURA: A REVOLUÇÃO DA LAVOURA MODERNA

Fernando Dini Andreote

Marcela Sene Santucci

Marcos Vinicius Gardenal Martins



Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Casa do Produtor Rural

Fernando Dini Andreote¹

Marcela Sene Santucci²

Marcus Vinicius Gardenal Martins³

¹Professor Associado do Departamento de Ciência do Solo
ESALQ/USP

²Aluna de Graduação em Engenharia Agrônômica
ESALQ/USP

³Aluno de Graduação em Engenharia Agrônômica
ESALQ/USP

Piracicaba, 2020

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Casa do Produtor Rural
Av. Pádua Dias, 11 • Cx. Postal 9 • Bairro Agronomia
Piracicaba, SP • CEP 13418-900
Fone: (19) 3429-4178 • cprural@usp.br
Distribuição Gratuita • Proibida a comercialização

Revisão Técnica:
Fernando Dini Andreote
Matheus Luis Docema

Figuras adaptadas
Luís Felipe Beraldo

Coordenação Editorial
Marcela Matavelli



Agradecimentos:

Pró-Reitoria de Cultura e Extensão Universitária

Diretoria da ESALQ/USP

Comissão de Cultura e Extensão Universitária

Serviço de Cultura e Extensão Universitária

Departamento de Ciência do Solo - Esalq

Prof. Dr. Fernando Dini Andreote

Apoio:



Realização:



IMPORTÂNCIA DA BIOLOGIA DO SOLO NA PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA

- Contextualização da Biologia do Solo

A biologia do solo é o estudo dos organismos (vegetais ou animais) que vivem no solo e suas relações que ocorrem entre si. Nos últimos anos tem-se dado maior relevância aos organismos que habitam o solo, devido às suas importantes funções dentro desse rico sistema. Antes da enumeração destas funções, abordaremos os diferentes tipos de organismos que habitam o solo. Devido à grande variedade de organismos habitantes do sistema solo, é comum que estes sejam divididos em macrofauna (organismos de maior tamanho), mesofauna (organismos de tamanho intermediário) e microfauna do solo (organismos menores) (GILLER, 1996).



05 Biologia do Solo Aplicada à Agricultura: a revolução da lavoura moderna

As funções de degradação de compostos orgânicos e a estruturação do solo são frequentemente atribuídas à macro e mesofauna do solo. A microfauna, por sua vez encarrega-se da execução de incontáveis funções devido à grande variabilidade, diversidade no metabolismo de bactérias, fungos e arqueias, além de sua alta representatividade numérica, exercendo funções importantes como a fixação biológica do nitrogênio e a formação de micorrizas.

A necessidade de compreensão do funcionamento da fauna do solo ocorre, principalmente, ao fato de que existem diferentes grupos de organismos com diversificadas funções, estes as quais devem, teoricamente, viver em equilíbrio para que o sistema funcione da maneira correta. Há também a possibilidade de que, em diferentes solos, grupos de microrganismos realizem funções semelhantes, o que aumentam as necessidades de investimentos em pesquisas, visto que, o Brasil apresenta uma heterogeneidade de solos distribuídos entre os diversos biomas do país.

06 Biologia do Solo Aplicada à Agricultura: a revolução da lavoura moderna

É importante destacar a existência de um bioma criado pelo ser humano, que pode ser denominado de bioma agrícola ou agrossistema. Devido as intensas modificações das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo causadas pelas práticas agrícolas, existem diversos estudos com enfoque no entendimento das mudanças na microbiota do solo causadas por essas alterações e a possibilidade de utilização desses organismos para aumentar a produtividade das culturas agrícolas.

Imagem 1 - Exemplo de Bioma Agrícola: plantação de cana-de-açúcar. Fonte: Embrapa/Cana-de-açúcar



07 Biologia do Solo Aplicada à Agricultura: a revolução da lavoura moderna

Partes essenciais dos solos, os organismos habitam tanto os sistemas agrários quanto os naturais, atuando desde a proteção às plantas contra pragas e doenças, solubilização de fosfatos até a transferência direta de nutrientes do solo para a planta.

Os organismos taxonomicamente semelhantes podem ter funções distintas nos ambientes, assim, não é suficiente o estudo apenas dos microrganismos, e sim da interação destes com os mais diversos tipos de solo e a influência nas espécies vegetais dos biomas existentes.

Os investimentos em estudos em biologia do solo, além de contribuir para o desenvolvimento agrícola mundial, se faz necessário para que haja conhecimento das interações no sistema solo e para que haja maior possibilidade de conservação dessa variedade de organismos que funcionam em perfeita harmonia em locais sem interferência humana.



08 Biologia do Solo Aplicada à Agricultura: a revolução da lavoura moderna

Nessas áreas de vegetação natural, a ciclagem de nutrientes é feita quase que totalmente pela microbiota do solo, e nas áreas agrícolas atuam na proteção das plantas contra ataques de organismos exógenos (que não pertencem àquele microambiente). Por fim, reforçando a essencialidade desses organismos, estes exercem os denominados serviços ecossistêmicos, que conferem aos solos características importantes, tais como a pedogênese, ciclagem de nitrogênio, transformação da matéria orgânica e processos biotecnológicos como a utilização da microbiota como promotora de processos de polinização (PIMENTEL et al., 1997).

Com o decorrer dos estudos sobre a heterogeneidade dos microrganismos do solo, cada vez mais chega-se à conclusão de que toda a diversidade existente sobre o solo possui forte ligação com tal microbiota, evidenciando o grande desafio e oportunidade em utilizar a favor da produtividade mundial esse complexo sistema que ocorre em ambientes naturais. Um dos grandes empecilhos para que se desenvolvam tecnologias explorando essa vertente é a falta de conexão entre a taxonomia dos microrganismos e suas funcionalidades, pois, como já citado anteriormente, esses organismos podem ser taxonomicamente semelhantes e exercer dife-

09 Biologia do Solo Aplicada à Agricultura: a revolução da lavoura moderna

rentes funções em ambientes distintos, dificultando o controle e a previsão do real efeito da introdução desses organismos em determinado sistema agrícola. Destaca-se a importância do uso desta tecnologia no cenário agrícola, visto que, é uma área que pode evoluir exponencialmente, gerando diversas alternativas e ferramentas para a compreensão desse sistema o que auxiliará no manejo agrícola, contribuindo para o desenvolvimento do agronegócio e para o aumento de produtividade agrícola.

DEFINIÇÃO E IMPORTÂNCIA DA RIZOSFERA

Um termo que merece destaque quando se trata do assunto biologia do solo é a chamada rizosfera. Por definição, a rizosfera configura-se como uma região importante a ser estudada a qual abrange toda a área do solo que sofre algum efeito causado pela raiz da planta. As raízes dos vegetais estão constantemente exsudando substâncias ricas em nutrientes as quais atraem microrganismos que podem ser benéficos ou não às plantas.



10 Biologia do Solo Aplicada à Agricultura: a revolução da lavoura moderna

A definição dos tipos de organismos que serão atraídos até a rizosfera depende de fatores como os sinais bioquímicos emitidos pelas raízes e as espécies vegetais presentes no local. Os microrganismos presentes na rizosfera influenciam diretamente no desenvolvimento e na produtividade da planta, o que faz com que haja uma troca entre o vegetal e o microrganismo, sendo que um se beneficia das substâncias exsudadas enquanto a outra parte é moldada pela presença dos microrganismos (ZAK et al., 2003). O objetivo principal de estudar a rizosfera e as relações existentes neste meio é estabelecer quais são os grupos benéficos para cada tipo

e suas funções, sendo o oposto também necessário, visto que muitos organismos são causadores de doenças ou podem facilitar a entrada de patógenos.

Os organismos benéficos podem ser selecionados através da exsudação de substratos específicos, fazendo com que um grande número de microrganismos se desenvolva e promova maior competição com prováveis patógenos que poderiam adentrar ao sistema, ocasionando a supressão conjunta desses organismos indesejáveis.



11 Biologia do Solo Aplicada à Agricultura: a revolução da lavoura moderna

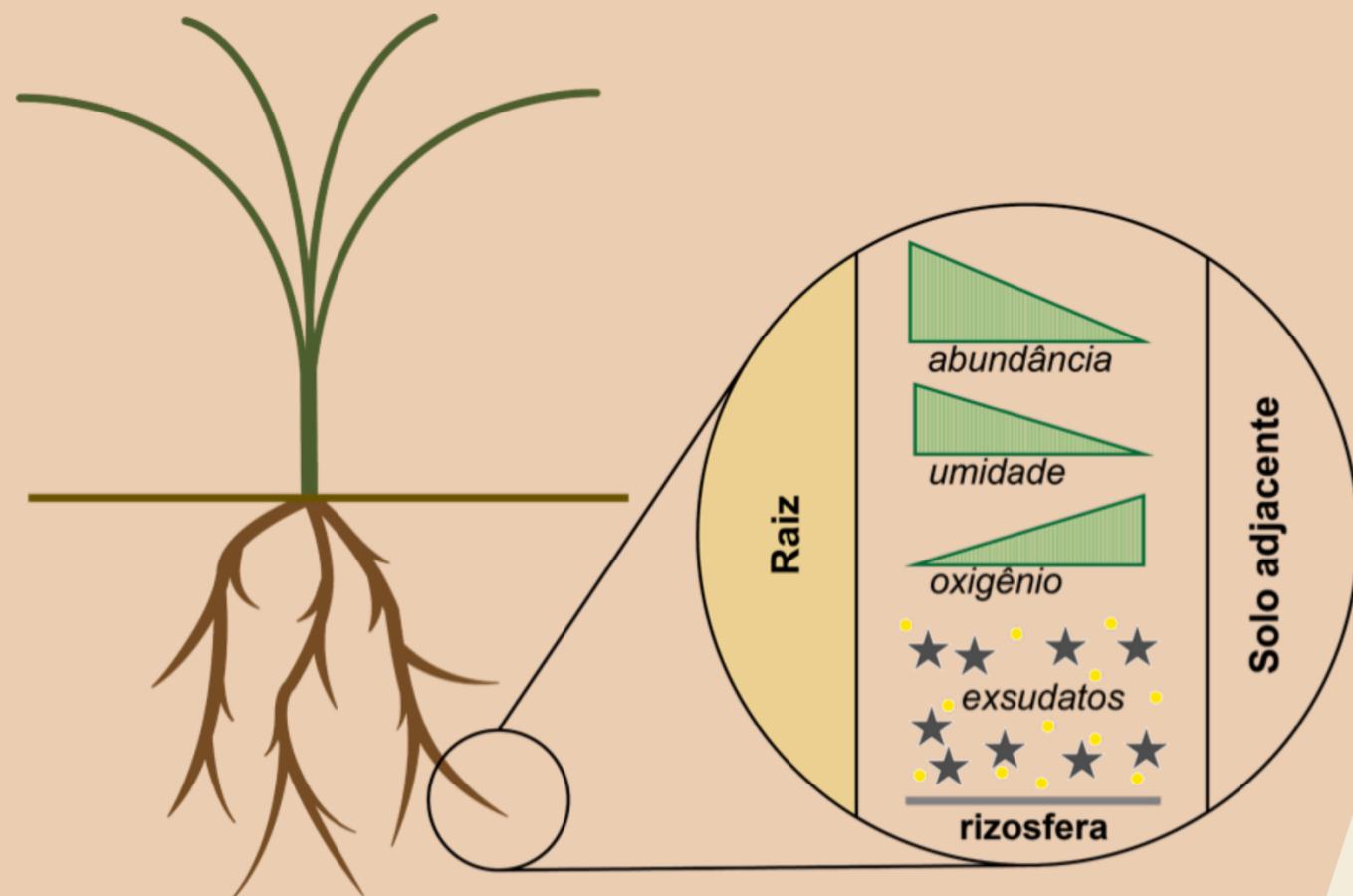


Figura 1. Ilustração do funcionamento da Rizosfera.

Fonte: Adaptado de Cardoso et al. (2016).

A partir do momento que uma planta é infectada por algum patógeno, todo seu funcionamento fisiológico é alterado, inclusive a composição das substâncias exsudadas na rizosfera, o que faz com que uma planta doente possa atrair ainda mais patógenos para seu sistema após a primeira infecção.

Dentro de toda essa variedade existente de organismos na rizosfera, existem as chamadas rizobactérias promotoras do crescimento de plantas, que basicamente influenciam no crescimento e desenvolvimento das plantas às quais estão ligadas. Essa influência pode ser direta ou indireta. No primeiro caso, a relação e interação entre as raízes e as bactérias ocorrem de maneira direta através, por exemplo, de bactérias fixadoras de nitrogênio ou solubilizadoras de fósforo.

12 Biologia do Solo Aplicada à Agricultura: a revolução da lavoura moderna

No segundo caso encontram-se os organismos que trazem benefícios às plantas através de ações indiretas como a degradação de matéria orgânica que fará com que haja disponibilização de nutrientes que serão absorvidos pelo sistema radicular.

MICRORGANISMOS DO SOLO E A RELAÇÃO COM COMPONENTES ABIÓTICOS

A importância de compreender o funcionamento dos componentes do solo, desde sua estrutura até a sua microbiota ocorre devido às inúmeras funções exercidas por ele, e por seu grande papel como reservatório biológico no planeta. O fato do solo ser heterogêneo faz com que ocorra o desenvolvimento de milhares de micro-habitats (que podem ser definidos como pequenos espaços dentro de um ambiente que abrigam uma fauna e flora distinta do que está ao redor) os quais terão características físicas, químicas e biológicas distintas entre si.



13 Biologia do Solo Aplicada à Agricultura: a revolução da lavoura moderna

O desenvolvimento de micro-habitats está associado com a formação de agregados, os quais são formados por proporções variadas de areia, silte e argila e que se comportam como uma estrutura física de sustentação do solo e possibilitam a existência da microbiota do solo.

A microbiota do solo se desenvolve através de mecanismos de interação, como por exemplo, a exsudação de polissacarídeos que é feita por bactérias e que aderem à parede das partículas de argila, fazendo com que haja adesão entre as células bacterianas e as partículas dos agregados do solo.

A disponibilidade de nutrientes no solo é outro fator que afeta diretamente a distribuição e explica a heterogeneidade na distribuição e nos tipos de microrganismos presentes nas mais diversas frações do solo. Zonas com alta disponibilidade de nutrientes são denominadas de "hot spots", essa abundância pode ser explicada devido ao maior acúmulo de matéria orgânica no solo em locais próximos ao sistema radicular de plantas, ocorrendo fontes nutricionais biodisponíveis pela exsudação de compostos da rizosfera.



14 Biologia do Solo Aplicada à Agricultura: a revolução da lavoura moderna

Estima-se que em um grama de solo existam de 10^7 a 10^8 células vivas (ALEXANDER, 1977), essa grande quantidade de organismos presentes é uma peça-chave no funcionamento do sistema solo, devido à necessidade de ocorrência de diversos tipos de processos, tais como decomposição, ciclagem de nutrientes, em diferentes épocas e momentos. Assim, como a existência de diversos microrganismos no solo permite com que ocorram processos essenciais para o sistema, o oposto também é válido, ou seja, a existência de diferentes tipos de solo promove o desenvolvimento dos mais diversos tipos de microrganismos.

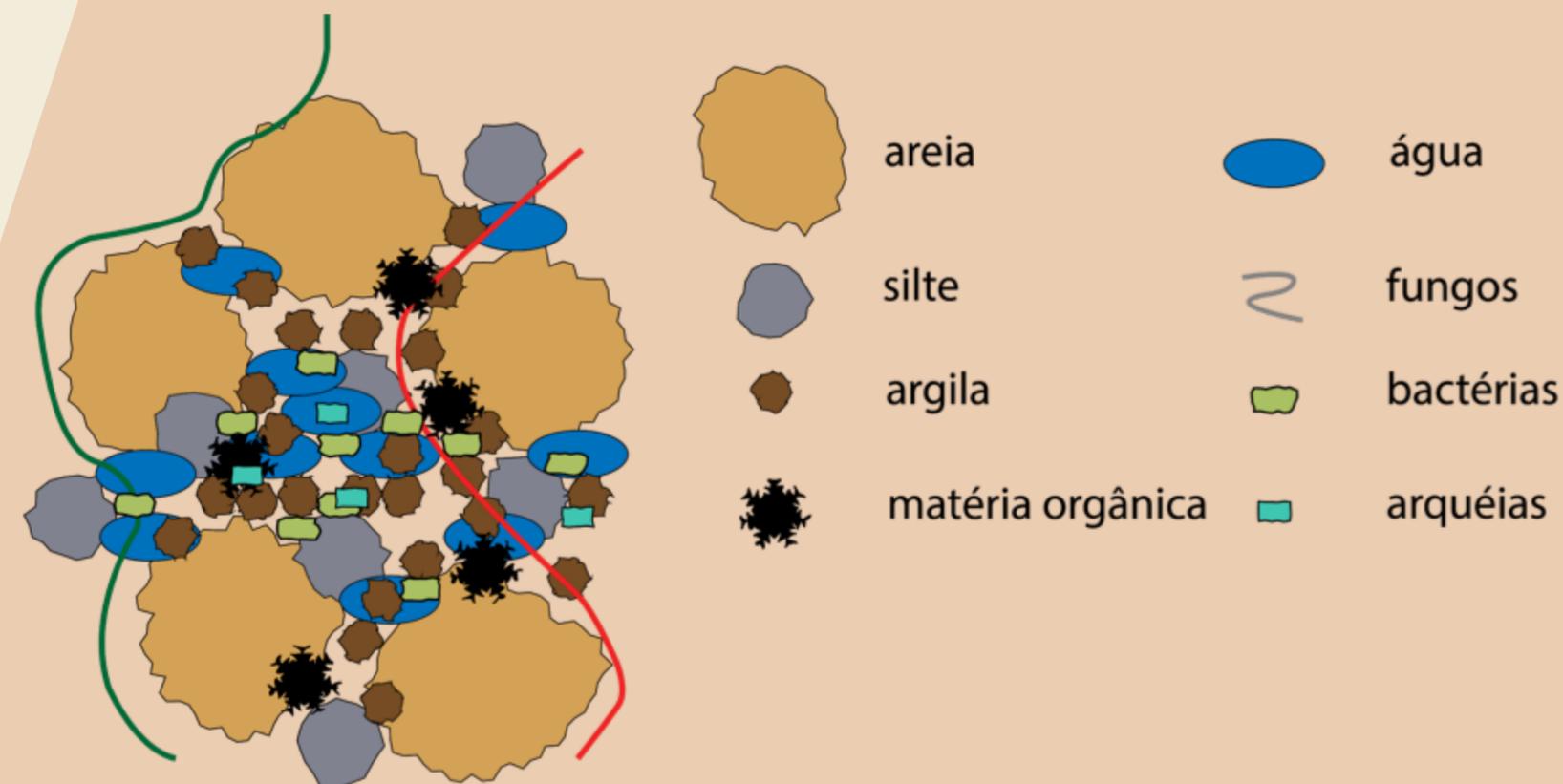


Figura 2 - Ilustração dos componentes do sistema solo
Fonte: Adaptado de Cardoso et al. (2016)

15 Biologia do Solo Aplicada à Agricultura: a revolução da lavoura moderna

Essa relação não somente influencia na estruturação e no desenvolvimento da microbiota do solo, mas também tem uma grande interferência na regulação de processos como a degradação da matéria orgânica, controle biológico de pragas e ciclagem de nutrientes. Toda essa diversidade também tem relação com os fatores abióticos. A seguir serão citados os principais fatores que interferem na cadeia microbiana do solo e suas implicações.

- **Temperatura**

A temperatura é um fator abiótico que influencia diretamente no funcionamento das células, retardando ou acelerando o metabolismo bacteriano (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Os microrganismos podem ser divididos em psicrófilos (faixa ótima para sobrevivência menor que 20°C), mesófilos (faixa ótima entre 20 e 40°C) e termófilos (maior que 40°C). Essa diferenciação é dada devido a diversas adaptações que ocorreram ao longo do tempo guiadas por pressões do ambiente, provocando a seleção natural e a adaptação.

Além da microbiota do solo, a temperatura também influencia nas características físicas e químicas destes (como a densidade do solo, pressão e difusão de gases), além das reações que ocorrem nesse meio (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002)

16 Biologia do Solo Aplicada à Agricultura: a revolução da lavoura moderna

- Água

A necessidade da água para a sobrevivência dos seres vivos no planeta é inquestionável. Assim como em outros ecossistemas, no solo, esse elemento também é imprescindível para a existência da atividade biológica, difusão de nutrientes, determinação do pH e motilidade microbiana, sendo encontrada em três estados: hidrocópica (aderida às partículas do solo), capilar (água armazenada nos microporos) e água livre (água que circula pelos macroporos) (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002)

- Atmosfera

Nos solos, também há diferenciação dos ambientes em função da composição e disponibilização dos gases aos microrganismos. Esses ambientes podem ser divididos em aeróbios, os quais apresentam até 20% de O_2 em seu interior possibilitando que, pela maior abundância de oxigênio, desenvolvam-se nesse ambiente metabolismos oxidativos. Outro ambiente que ocorre nos solos são os chamados microaerofílicos, nos quais a concentração de oxigênio é baixa forçando os organismos a utilizarem outros gases, além do oxigênio como aceptores finais de elétrons.

Nos ambientes anaeróbios, ou seja, nos quais não há disponibilização de oxigênio, os organismos ali presentes são adaptados à utilização de outros elementos como aceptores finais de elétrons. Essa situação (anaeróbia) é comum em solos alagados, porém esse fenômeno pode ocorrer nos mais diversos micro-habitats.

- pH

Sabe-se que a variação do pH afeta diretamente a solubilização de minerais do solo e, conseqüentemente, a disponibilidade de nutrientes no meio. De forma geral, quanto maior o valor do pH, menor a disponibilidade de micronutrientes, tais como Ferro, Cobre e Manganês, assim como a diminuição do pH afeta a disponibilidade de macronutrientes como Nitrogênio e Enxofre. A variação do pH, além de influenciar na disponibilização de nutrientes, também influencia nos tipos de microrganismos que habitarão o solo. De acordo com Prosser et al. (2012) solos em que os valores de pH são menores que 5.5, predominam-se arqueias que realizam a oxidação da amônia. Quando o pH observado é superior a 5.5 as arqueias são substituídas por bactérias que oxidam essa amônia. Também há a divisão dos microrganismos de acordo com a faixa de pH ótima para a suasobrevivência e desenvolvimento. Os organismos basófilos se desenvolvem em pH relativamente mais elevados, os neutrófilos, como a própria denominação já indica, preferem ambiente com pH neutro e os acidófilos tem faixa ótima de pH em locais mais ácidos.

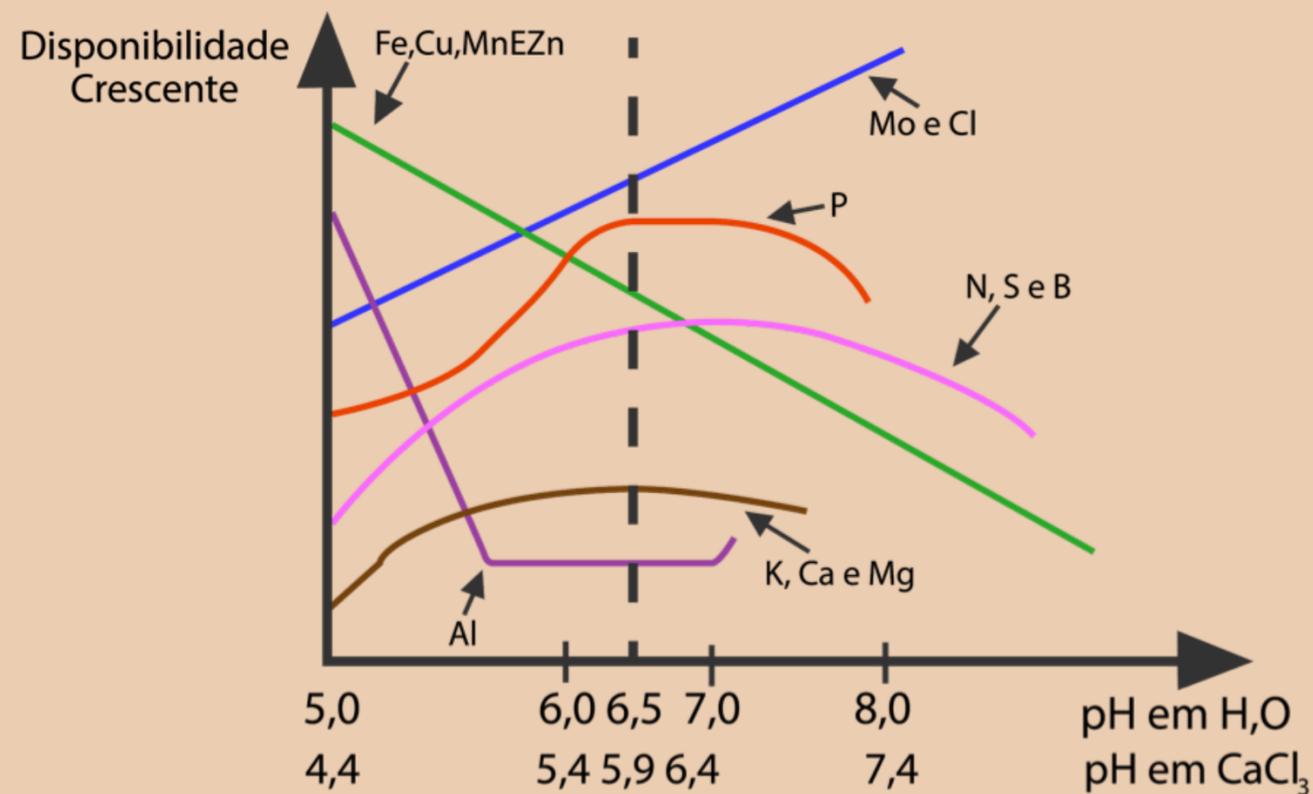


Figura 3. Disponibilidade de Nutrientes em função do pH
Fonte: Adaptado de Universidade Federal do Mato Grosso
Departamento de Solos e Energia Rural (2005)
Sânia Lúcia Camargos

• Matéria orgânica

A quantidade de matéria orgânica pode variar de acordo com as características físico, químico e biológicas de cada solo, sendo oriunda de restos de materiais vegetais em decomposição e microrganismos. A desuniformidade na distribuição se dá pelo fato de que na camada de 0-20 cm há maior concentração de microrganismos do que em maiores profundidades, logo, nessa faixa de solo há maior concentração de MO. A matéria orgânica é muito importante na definição das propriedades do solo, na definição da quantidade de nutrientes que será disponibilizado e na relação C/N do solo.

19 Biologia do Solo Aplicada à Agricultura: a revolução da lavoura moderna

Outro ponto importante de ser esclarecido é o fato de que nem toda substância orgânica será passível de decomposição por microrganismos, assim materiais como plásticos e alguns pesticidas levarão milhares de anos para que sejam transformados na natureza, não sendo úteis para a melhoria da fertilidade do solo.

- Fontes nutricionais

A matéria orgânica é de extrema importância para a formação de micro-habitats e o desenvolvimento de microrganismos, sendo uma das mais importantes fontes nutricionais do solo. Uma fonte nutricional se configura como uma fonte de elementos essenciais ao desenvolvimento dos organismos, como os nutrientes, fazendo parte, na maior parte das vezes da maioria das moléculas orgânicas presentes no meio e estão em constante renovação no solo, permitindo que haja continuidade no sistema.



INTERAÇÕES ENTRE OS ORGANISMOS E O SOLO

O modo com que os organismos se relacionam entre si determinam o funcionamento dos ecossistemas existentes no planeta. Como já visto, no sistema solo, os microrganismos possuem papel destaque no seu funcionamento, através da estruturação do solo, ciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, estímulo ao desenvolvimento vegetal.

Os processos microbiológicos e bioquímicos relevantes aos ramos agrícola e ambiental são o foco da ecologia microbiana, que associam os fatores bióticos e abióticos que influenciam em tais processos (LEITE; ARAÚJO, 2007). De acordo com Begon et al. (2006) o grande desafio dessa ciência denominada ecologia é estabelecer

padrões, os quais reconhecem tanto a complexidade como a singularidade de cada ser, buscando dividi-los através de padrões e previsões. É nítida a quantidade de benefícios oriundos da presença de microrganismos no solo, porém, um desequilíbrio nesse sistema pode fazer com que esses mesmos microrganismos comecem a competir por recursos (água, nutrientes) ou tornam-se causadores de doenças às plantas, prejudicando o desenvolvimento vegetal.

Essa possibilidade de competição por recursos com os vegetais é uma das grandes preocupações para o ramo agrícola, visto que os estudos são focados na utilização desses organismos para o aumento de produtividade, por

isso a necessidade de entender cada vez mais esse sistema podendo assim, utilizá-los como uma importante ferramenta no manejo agrícola.

Dentro do universo microbiano, praticamente nenhuma espécie sobrevive isoladamente, sendo constante a interação entre esses seres. Essas relações entre os microrganismos podem ser positivas ou negativas. Nas chamadas interações positivas, a relação é benéfica para pelo menos um dos indivíduos ou não é prejudicial para nenhum dos envolvidos. Nas interações negativas, pelo menos um dos organismos envolvidos é prejudicado sendo a outra parte beneficiada ou não prejudicada. As interações positivas e negativas são de grande importância para o estudo dos impactos que esses microrganismos podem trazer ao ambiente agrícola.

Descrevemos a seguir algumas destas interações:

Interações positivas

- Comensalismo: nessa interação apenas um dos envolvidos se beneficia, sendo não prejudicial para o outro organismo envolvido.
- Mutualismo: neste tipo de interação ambos os indivíduos são beneficiados, o que explica o nome da interação, que se refere a um benefício mútuo.

Interações negativos:

- Antagonismo: nesse caso o desenvolvimento de um organismo prejudica o desenvolvimento de outro, através da liberação de substâncias que prejudiquem os organismos próximos.

22 Biologia do Solo Aplicada à Agricultura: a revolução da lavoura moderna

- Competição: como o próprio nome sugere, neste tipo de relação os microrganismos competem por água e nutrientes.
- Parasitismo: nesse tipo de interação existe um organismo hospedeiro, o qual fornecerá recursos ao seu parasita de maneira involuntária, e o parasita que se beneficiará do metabolismo do hospedeiro.
- Predação: essa relação é muito nítida em vários ecossistemas do planeta, em que um organismo preda ou se alimenta de outro. É importante ressaltar que essas interações não ocorrem isoladamente no solo, e a todo momento estão ocorrendo várias interações envolvendo os organismos do solo. Existem estudos que comprovam a ação conjunta de bactérias e organismos para impedir a entrada de patógenos no sistema solo (VAN ESLAS et al., 2012).



23 Biologia do Solo Aplicada à Agricultura: a revolução da lavoura moderna

Dentro da microbiota do solo, a diversidade de espécies é muito grande, sendo assim, há a separação das populações que ocorrem em frequências e locais distintos. Nessa divisão de populações, destacam-se a existência de dois grupos: as populações abundantes (pequeno grupo de populações que apresenta alta frequência) e a biosfera rara (populações com frequência baixa) (LYNCH; NEUFELD, 2015).

Essa visão da frequência das populações no solo permite a visualização da dinamicidade desse ecossistema. Através da diversidade de populações pode-se inferir as localizações dos solos, sendo que, solos com menores diversidades de populações encontram-se em locais de práticas agrícolas sem a utilização de nenhum manejo conservacionista.

Em solos de áreas naturais ocorre o comportamento oposto, possuindo grande diversidade de populações de microrganismos, o que demonstra a importância do manejo correto para diminuir a seleção de organismos e permitir que haja grande heterogeneidade no sistema.



Figura 4 - Demonstração da diversidade de espécies e de sistemas radiculares do solo em um ecossistema natural.

Fonte: Fernando Dini Andreote

24 Biologia do Solo Aplicada à Agricultura: a revolução da lavoura moderna

Assim como em qualquer outro ecossistema, na microbiota do solo, há a ocorrência da seleção natural que promove a sobrevivência de organismos adaptados ao local. Essa adaptação ocorre através do desenvolvimento de organismos que necessitam basicamente dos recursos oferecidos naquele determinado local, permitindo com que haja essa relação mutualística ambiente-microrganismos.

A alta capacidade de multiplicação em períodos relativamente curtos pode ser citada como uma das importantes adaptações. Essa facilidade de multiplicação é oriunda do compartilhamento de certas características entre os organismos, o que permite a divisão das funções do metabolismo entre estes, culminando em um menor gasto de energia para atividades como a multiplicação. A grande diferença entre os ecossistemas naturais e os utilizados para produção agrícola está no perfil dos organismos que os compõe.



Figura 5 - Demonstração da redução da heterogeneidade de espécies e conseqüentemente de sistemas radiculares em monoculturas

Fonte: Fernando Dini Andreote

25 Biologia do Solo Aplicada à Agricultura: a revolução da lavoura moderna

Os organismos adaptados e que priorizam o mutualismo para a sobrevivência no solo predominam em sistemas naturais, já organismos competidores, que visam inibir o desenvolvimento de outras populações ocorrem em maior frequência em áreas de produções agrícolas. Esse comportamento demonstra a necessidade de entendimento das relações entre os organismos e o desenvolvimento de técnicas que visem a diminuição de organismos competidores e o aumento de organismos que utilizem os recursos naturais de maneira conjunta.

Levando em consideração a ecologia microbiana, os organismos pertencentes a microbiota do solo compõem a diversidade biológica (presença de grupos distintos de microrganismos) e metabólica (variedade de processos biológicos realizados devido a existência da diversidade biológica) do sistema, o que permite que mesmo com alterações ambientais, ainda existam microrganismos adaptados às condições do ambiente.

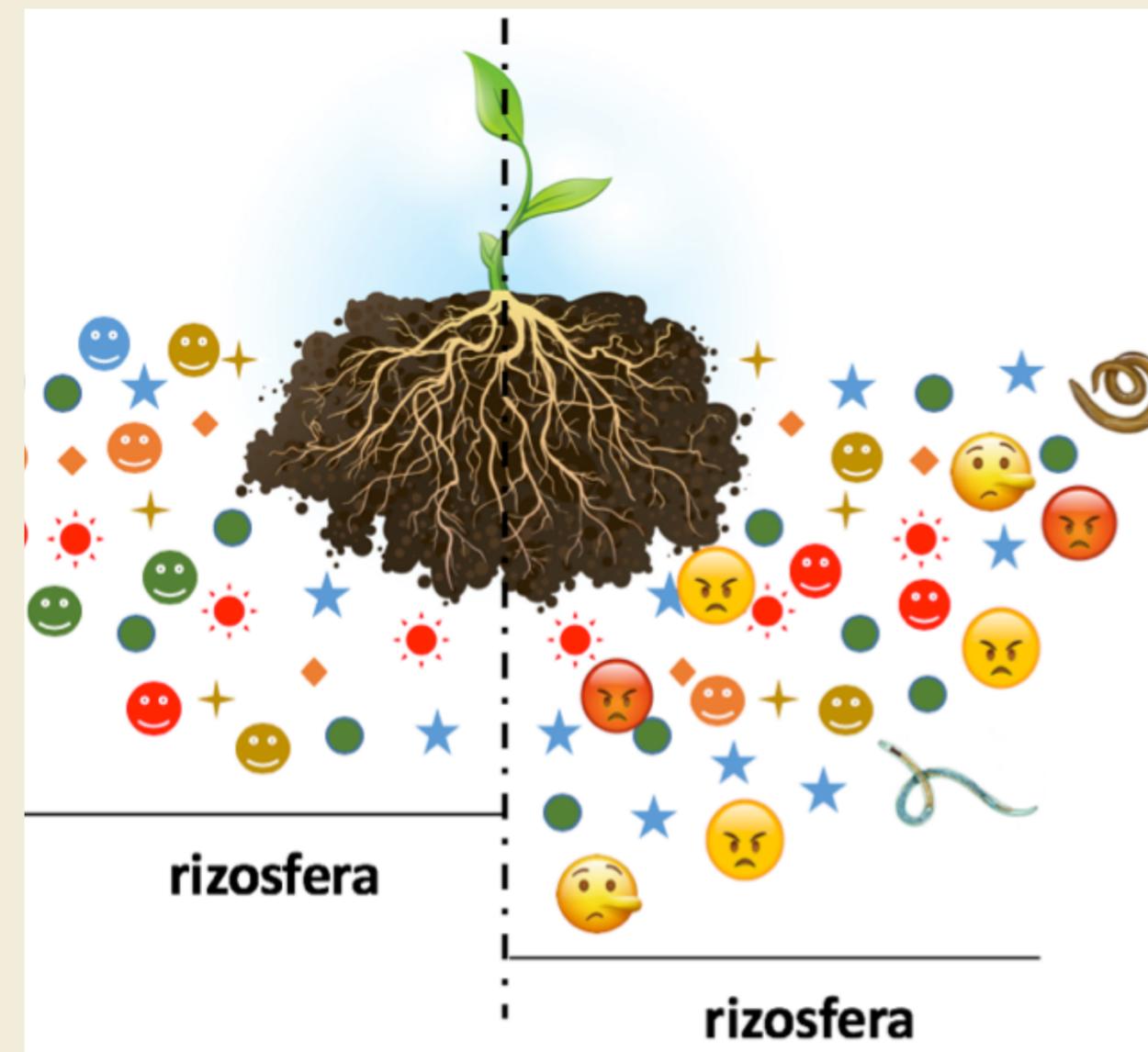


Figura 6 - Demonstração dos diferentes tipos de organismos que podem habitar a rizosfera, e podem ser benéficos ou não, dependendo do manejo de solo utilizado. Fonte: Fernando Dini Andreote

Outra característica importante dos microrganismos é a resiliência implicada no sistema, sendo que os organismos possuem alta capacidade de reestabilizar um sistema mesmo após grandes impactos sofridos.

BIOLOGIA DO SOLO E A RELAÇÃO COM SISTEMAS AGRÍCOLAS

Uma pergunta muito frequente em relação a biologia do solo refere-se ao manejo deste componente em sistemas agrícolas. Para responder este tema, devemos, primeiramente, compreender que a microbiologia do solo sempre responde aos demais componentes do manejo, ajustando sua estruturação e funcionamento frente as alterações ambientais causadas pela ação humana. Assim sendo, o desafio é agregar valor a este

componente sem perder a eficiência dos demais componentes que determinam o potencial agrônômico.

Para darmos início a este tema, é importante entender que a biodiversidade é o grande suporte de uma boa performance da biologia do solo. A biodiversidade microbiana está estruturada inicialmente em um sistema de ampla biodiversidade vegetal, que insere no solo diversas formas de carbono lábil. Assim, sistemas de produção que usam uma boa rotação de cultura, o cultivo de entrelinhas, e/ou sistemas de integração são fundamentais para a garantia de uma microbiologia mais ativa. Na cultura da cana-de-açúcar, por exemplo, técnicas como o uso de plantios no sistema de meiosi e os cultivos na reforma do canavial são imperativos para uma melhor exploração da microbiologia do solo.

MICROBIOMA DE SOLOS CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR:

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo e pioneiro na produção de etanol, ficando em posição de destaque em relação à produção de biocombustíveis e energia limpa (KOHLHEPP, 2010), sendo as regiões Sudeste e Centro Oeste, responsáveis por quase 90% da produção do etanol. O aumento da demanda pelo produto tem dado valorização ao setor e causado seu amplo crescimento. A conversão de vegetação nativa em monocultivos provoca sérias alterações às características físicas, químicas e biológicas do solo, causando o desaparecimento de grande parte da biodiversidade dos microrganismos.

A utilização de produtos biotecnológicos tende a aumentar significativamente nas próximas décadas, sendo que os microrganismos além de proporcionar mais nutrientes para as raízes, trazem mais resistência a planta a estresses e servem como bioindicadores da qualidade do solo.



28 Biologia do Solo Aplicada à Agricultura: a revolução da lavoura moderna

O manejo e a forma de aplicação das atividades agrícolas interferem diretamente na biologia do solo, um excelente exemplo é em relação ao fogo utilizado para a colheita da cana-de-açúcar em um passado recente. Após a proibição das queimadas de canaviais em 2007, o corte passou a ser mecanizado e a palhada que antes era queimada gerando gases de efeito estufa e poluindo o ar, acaba por ficar no solo contribuindo para um ambiente mais propício para os microrganismos do solo (PAREDES JUNIOR et al., 2015).

Os microrganismos possuem importância na mineralização do fósforo que se tornam disponíveis pelas plantas.

O fósforo é o segundo macronutriente mais limitante no cultivo de cana, ficando atrás apenas do Nitrogênio (N), e participando de importantes atividades metabólicas da planta. Esta tem capacidade de absorver o fósforo na forma inorgânica, como HPO_4^{2-} e $\text{H}_2\text{PO}_4^{4-}$, que por sua vez podem ser mineralizados ou solubilizados por tais microrganismos benéficos presentes no solo. Quando estes possuem maior diversidade e densidade populacional, há uma maior resiliência da planta ao ataque de patógenos e outros estresses bióticos e abióticos. O aumento de tais nutrientes gerou maior produtividade na cultura (SILVA et al., 2018). Adicionalmente, devemos pensar sobre o emprego de fertilizantes e defensivos, os quais podem apresentar efeitos diretos ou indiretos sobre a estruturação biológica dos solos.

29 Biologia do Solo Aplicada à Agricultura: a revolução da lavoura moderna

Os efeitos diretos são as ações biocidas dos defensivos sobre organismos sensíveis, e a salinidade gerada pelos grânulos dos fertilizantes. Em relação aos efeitos indiretos, podemos pensar na seleção de degradadores de defensivos, e nas alterações nas redes de alterações biológicas causadas pela presença de nutrientes no solo. Estes efeitos são dependentes do estado original do solo, uma vez que sistemas com maior biodiversidade e atividade biológica são mais resistentes a estes componentes de manejo. Nas áreas de cultivo de cana-de-açúcar, esta parte do manejo se atinge com o uso efetivo (necessário e preciso) de fertilizantes e insumos, bem como por meio do emprego de resíduos orgânicos, material abundante nos canaviais. Por fim, é importante ressaltar a existência de um mercado de produtos biológicos, os quais visam aumentar a qualidade dos so-

los cultivados, provendo serviços microbianos para as plantas. Este mercado se divide em diversas formas de ação dos produtos. Os inoculantes são compostos de espécies microbianas que quando inseridos no sistema, fornecem nutrientes para várias plantas (exemplo mais comum pelos fixadores de nitrogênio). Existem também produtos que prezam pela entrada de organismos que protegem as plantas contra pragas e doenças, são os chamados biodefensivos. Além destes, temos produtos conhecidos como condicionadores biológicos de solo, os quais tem por objetivo uma recomposição da biodiversidade dos solos. É importante destacar que estes produtos têm funções particulares e devem ser utilizados de forma consciente pelos produtores, para que os melhores resultados possam ser alcançados.



Figura 7. Esquema de demonstração do mercado de biológicos existente na agricultura

Fonte: Fernando Dini Andreote

APLICAÇÃO DE COMPOSTOS E RESPOSTA DO SOLO

A fertilidade do solo é um fator crucial na produtividade agrícola, assim, para que existam solos férteis, é necessário que haja a disponibilização dos nutrientes nas doses corretas. Além da presença de nutrientes faz-se necessário atentar na forma como estes serão disponibilizados, atentando-se também à correção do pH, estrutura do solo e sua profundidade.

De acordo com Ferreira (2020) As tecnologias que surgiram no ramo biológico, permitem que o solo seja revigorado, através do equilíbrio dos organismos necessários no solo, visto que, com monoculturas, acaba-se limitando a variedade de organismos existentes no solo, devido às necessidades padrões da cultura implantada.

Essa limitação faz com que o solo reduza seu poder de equilíbrio, levando à uma maior incidência de organismos indesejáveis e conseqüentemente maior incidência de patógenos. O condicionador de solo possibilita o retorno ao equilíbrio através da ativação do complexo biológico que promove, pela adição no solo de ácidos húmicos ou fúlvicos e aminoácidos, a produção de hormônios desejáveis ao desenvolvimento vegetal, com enfoque no enraizamento, fazendo com que, a microbiota do solo fique mais diversificada, o que auxilia nos processos existentes no solo que são necessários para a disponibilização de nutrientes às plantas e proteção das plantas, visto que a atividade das raízes, de acordo com Mendes et al. (2011) são altamente dependentes dessa di-

versificação dos organismos existentes no solo.

MÉTODOS DE MULTIPLICAÇÃO E ANÁLISE MICROBIANA

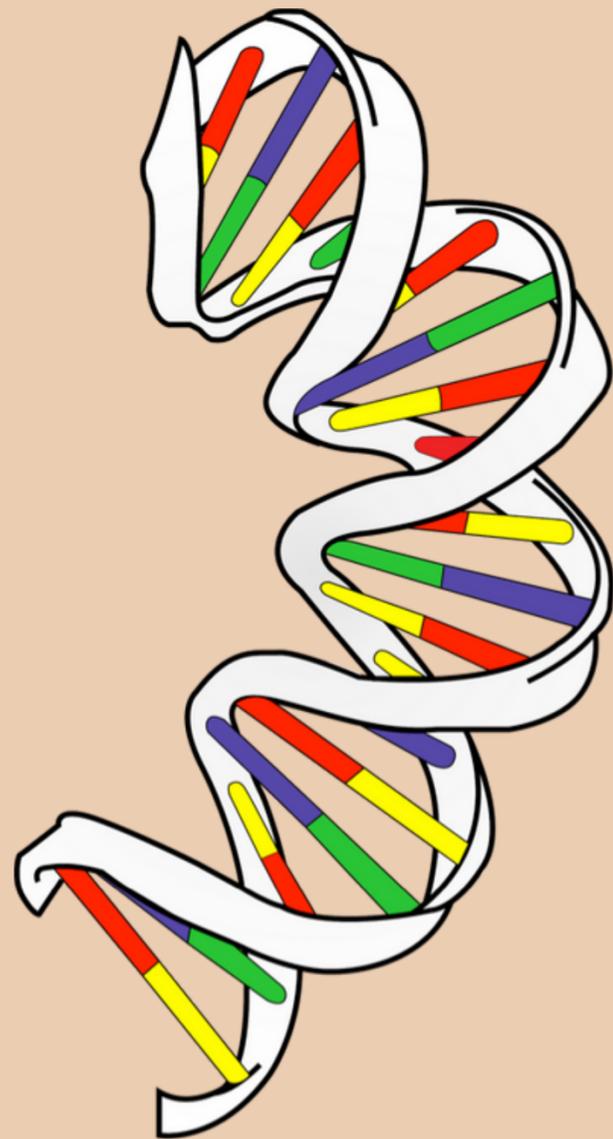
A dificuldade de representação da microbiota do solo em laboratório ocorre devido à grande diversidade de ambientes e condições às quais os organismos são submetidos no sistema, o que provoca diversas adaptações e proporções desses microrganismos em cada porção do solo.

Assim, condições controladas de laboratório não representam o que realmente ocorrem nos sistemas produtivos, e a multiplicação de organismos considerados benéficos para a área agrícola é dificultada.

Algumas metodologias de multiplicação chamadas de metodologias independentes de cultivo, têm se mostrado eficientes. Elas são focadas em um gene alvo, e ampliação deste através de uma técnica denominada de PCR (do inglês, Reação em Cadeia da Polimerase). Essa metodologia se destaca pela capacidade de avaliação de várias amostras ao mesmo tempo, o que facilita a avaliação de diferentes grupos taxonômicos existentes na mesma porção do solo.



33 Biologia do Solo Aplicada à Agricultura: a revolução da lavoura moderna



A utilização da análise metagenômica também possui relevância nos trabalhos de caracterização dos organismos no solo, com a reconstrução de genomas das bactérias presentes no solo através de técnicas de sequenciamento de DNA extraídos do solo.

Existem métodos que buscam uma análise rápida e eficiente da atividade microbiana do solo, o que pode ser atingido, por exemplo, pela quantificação e algumas enzimas do solo. As enzimas utilizadas para esta finalidade são relacionadas à decomposição de materiais orgânicos no solo, e atuam de forma extracelular aos organismos que as produzem, tais como as enzimas beta-glicosidase e arilsulfatase, identificadas pela EMBRAPA como boas indicadoras da qualidade biológica dos solos (EMBRAPA AGROBIOLOGIA, 2016).

Figura 8 - Ilustração de molécula de DNA que poderá ser multiplicada pela técnica de PCR. Ilustrado por: Luís Felipe Beraldo - Casa do Produtor Rural, Esalq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, M. Introduction to soil microbiology. 2 nd ed. New York, John Wiley, 1977. 472 p.

EMBRAPA AGROBIOLOGIA. Otimização de metodologias para análise de enzimas em solos, visando à implementação em rotinas laboratoriais. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-projetos/-/projeto/204975/otimizacao-de-metodologias-para-analise-de-enzimas-em-solos-visando-a-implementacao-em-rotinas-laboratoriais>. Acesso em: 15 out. 2020.

BEGON, M.; TOWNSEND, C.R.; HARPER J.L. Ecology from Individuals from Ecosystems. 4. ed. Malden: Blackwell Publishing, 2006. 759 p. Disponível em: http://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo_thumb/Ecology-From-Individuals-to-Ecosystems-by-Michael-Begon--2006-.pdf. Acesso em: 05 out. 2020.

CAMARGOS, S.L. Acidez do Solo e Calagem (Reação do Solo). 2005. Disponível em: https://www.ufjf.br/baccan/files/2019/04/Apostila_Capitulo_2_Acidez_Calagem.pdf. Acesso em: 04 out. 2020.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARDOSO, E.J. B.N.; ANDREOTE, F.D. Microbiologia do Solo. 2. ed. Piracicaba: Esalq, 2016. 225 p. Disponível em: <http://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/view/109/92/461-1>. Acesso em: 14 out. 2020.

FERREIRA, cD.A. Biologia do solo e qualidade do sistema reprodutivo. Disponível em: <https://falandoemagro.com/2020/04/07/biologia-do-solo-e-qualidade-do-sistema-reprodutivo/>. Acesso em: 28 out. 2020.

GILLER, P.S. The diversity of soil communities, the 'poor man's tropical rainforest'. Biodiversity and Conservation, London, v. 5, p. 135-168, 1996.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. Estud. av., São Paulo, v. 24, n. 68, p. 223-253, 2010. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142010000100017&lng=en&nrm=iso>. access on 30 Oct. 2020. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142010000100017>.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LEITE, L.F.C.; ARAÚJO, A.S.F. Ecologia Microbiana do Solo. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35904/1/Doc164.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2020.

LYNCH, M.D.J.; NEUFELD, J.D. Ecology and exploration of the rare biosphere. *Nature Reviews Microbiology*, London, v.13, p.217-229, 2015.

MENDES, R. Deciphering the rhizosphere microbiome for disease suppressive bacteria. *Science*, New York, v. 332, p. 1097-1100, 2011.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: UFLA, 2002. 625 p.

PAREDES JUNIOR, F.P.; PORTILHO, I. I.R.; MERCANTE, F.M. Atributos microbiológicos de um latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, n. 1, p. 151-163, 2015.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PIMENTEL, D. et al. Economic and environmental benefits of biodiversity. *BioScience*, Washington, v. 47, p. 747-757, 1997.

PROSSER, J.I.; NICOL, G.W. Archaeal and bacterial ammonia oxidizers in soil: the quest for niche specialization and differentiation. *Trends in Microbiology*, Cambridge, v. 20, p. 523-531, 2012.

SILVA, A. M. M. Aumento da produtividade e mudanças na microbiota do solo em cultivo de cana-de-açúcar com aplicação de composto e inoculação de bactérias solubilizadoras de fósforo. 2018. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 2018. doi:10.11606/D.11.2018.tde-04102018-153553. Acesso em: 2020-10-29.

VAN ELSAS, J.D. et al. The bacteria and archaea in soil. *Modern soil microbiology*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2006. chap. 4, p. 83-106.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ZAK, D.R. et al. Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: are there any links? *Ecology*, New York, v. 84, n. 8, p. 2042-2050, 2003.

SOBRE A CASA DO PRODUTOR RURAL

A Casa do Produtor Rural é um centro de atendimento ao produtor rural que tem como objetivo prestar gratuitamente orientação técnica nas diferentes áreas da atividade agropecuária, de forma integrada com professores, departamentos e grupos de extensão universitária.

É um modelo de orientação técnica e extensão rural, diretamente ligado à pesquisa e ao ensino, que possibilita o desenvolvimento dos produtores rurais de maneira sustentável.



E-mail
cprural@usp.br



Instagram
@cprural_esalq



WhatsApp
(19) 3429-4178



Facebook
@casadoprodutorrural

Casa do Produtor Rural | Todos os direitos reservados 2020 ®





Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Casa do Produtor Rural - ESALQ|USP

