

# Solos supressivos a doenças

Murillo Lobo Junior

Renan Macedo

Priscila Ferreira dos Santos-Goulart

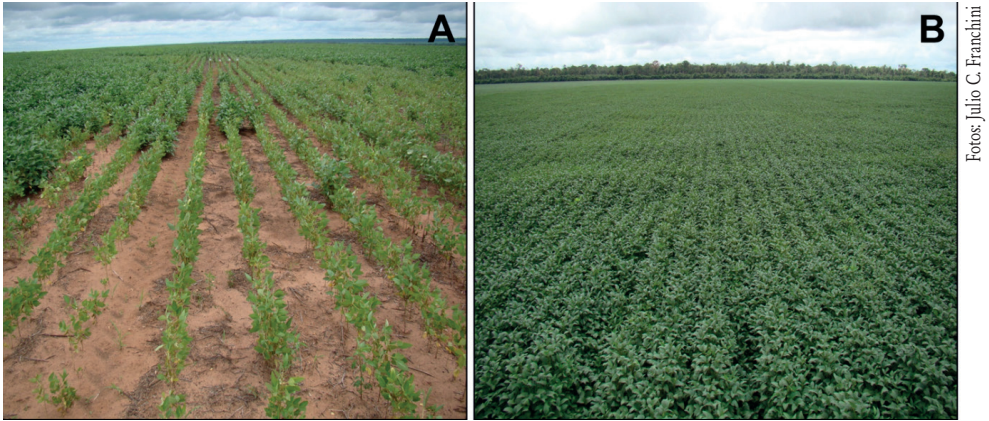
### Introdução

Solos supressivos são solos nos quais a incidência ou a severidade de doenças permanecem baixas, apesar da presença de um determinado patógeno, sua planta hospedeira suscetível e condições ambientais favoráveis para o desenvolvimento de doenças (Baker; Cook, 1974). Este conceito parece distante da realidade atual das áreas cultivadas intensivamente com *commodities* onde se acumulam perdas de produtividade causadas por doenças radiculares, em áreas infestadas que excedem 10 milhões de hectares no Brasil, apenas com *Sclerotinia sclerotiorum* (Meyer et al., 2018). Porém, sabe-se que os solos têm propriedades que podem regular e suprimir patógenos habitantes do solo em nível variado, e que esta capacidade altamente desejável pode ser desenvolvida nos sistemas produtivos (Bongiorno et al., 2019) para proteger as plantas e aumentar produtividades, sem exigir uma dependência proporcional de insumos químicos.

As mudanças negativas em vários componentes do solo são facilmente perceptíveis com o passar dos anos, quando o manejo dos agroecossistemas é decidido somente por critérios econômicos. Nestas condições, ocorre o acúmulo de patógenos com destaque para espécies de fungos e de fitonematoides, além de mudanças em outros componentes que potencializam a ocorrência de doenças, como a compactação do solo e perda de matéria orgânica. Nestas condições, chega-se à situação oposta, definida como solos *conducivos* a doenças.

As principais propriedades dos solos supressivos foram definidas por Baker e Cook (1974) para os casos em que o patógeno não se estabelece ou persiste; se estabelece mas causa pouco ou nenhum dano; a severidade ou incidência da doença permanece baixa e perde importância. A percepção deste fato no campo é, na verdade, bem mais antiga e feita atualmente com comparações diversas entre solos arenosos e argilosos, mais ricos ou pobres em matéria orgânica, e com níveis variáveis de nutrientes (Figura 1).

Solos supressivos são uma das formas de controle biológico conservativo de doenças, quando antagonistas e outros microrganismos endêmicos devem ser conservados e estimulados, e promovem a “supressão” em si (Eilemberg et al., 2001). Há outras formas de compreender as questões de proteção



Fotos: Julio C. Franchini

**Figura 1.** População e danos de *Pratylenchus brachyurus* em soja cultivada sobre solos de diferentes texturas em Nova Ubiratã (MT). A: solo arenoso com 16.800 nematoides/planta na safra 2010/2011 e 19.400 nematoides/planta em 2011/2012; B: 16.800 nematoides/planta em 2010/2011 e 20.800 nematoides/planta em 2011/2012.

de plantas e sustentabilidade agrícola, como avaliações da “qualidade do solo” ou da “saúde do solo”, explorados em demandas que têm se tornado mais populares, como “agricultura regenerativa” ou “intensificação ecológica”. Estes termos não são sinônimos, porém há sobreposição entre os seus escopos e suas definições podem ser úteis para uma melhor discussão sobre a sustentabilidade agrícola (Tabela 1). Como há muitas possibilidades de estudos envolvendo os solos cultivados, as abordagens e termos podem variar de acordo com o interesse, sendo que vamos dar ênfase aqui à supressividade de doenças radiculares nos sistemas que incluem a cultura da soja.

**Tabela 1.** Conceitos relacionados aos solos supressivos e à sustentabilidade agrícola, que podem ser utilizados no manejo de doenças.

Conceito	Definição	Autores
Solo supressivo	Solos onde o patógeno não se estabelece ou persiste; se estabelece mas causa pouco ou nenhum dano; a severidade ou incidência da doença permanece baixa e perde importância, apesar da presença do patógeno, planta hospedeira suscetível e condições climáticas favoráveis para o desenvolvimento de doenças.	Baker; Cook, 1974
Qualidade do solo	Capacidade de um tipo específico de solo para funcionar, dentro de limites do ecossistema natural ou gerenciado, para sustentar a produtividade vegetal e animal, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar e apoiar a saúde humana e a habitação.	Karlen et al., 1997
Saúde do solo	Capacidade contínua do solo de funcionar como um sistema vital, dentro dos limites do ecossistema e do uso da terra, para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade do ar e da água, e promover a saúde vegetal, animal e humana.	Doran et al., 1996
Agricultura regenerativa	Há um redesenho do sistema para restaurar a base de recursos por meio de serviços ecológicos naturais, com objetivo principal de melhorar a saúde do solo ou restaurar o solo altamente degradado, com impacto ambiental menor ou mesmo positivo.	Rhodes, 2017
Intensificação ecológica	Sistema que visa a maximização da produtividade sem comprometer a capacidade do sistema de sustentar sua capacidade produtiva.	FAO, 2009

Cook e Baker (1983) descreveram duas formas básicas de supressão a doenças, geral e específica. A geral está diretamente relacionada à alta atividade microbiana de muitos organismos benéficos endêmicos no solo e atua contra um grupo ou todos os patógenos possíveis. Já a supressão específica opera apenas contra certos tipos de patógenos, com maior número de casos descritos em literatura para os fitonematoides e fungos (Westphal, 2005).

A supressão natural de doenças nos solos é geralmente atribuída a causas biológicas e, pode ser perdida com tratamentos biocidas (Ghini; Zaroni, 2001; Westphal, 2005). Eventualmente, variáveis químicas e físicas também podem ser importantes. Os componentes químicos e físicos do solo, incluindo pH, matéria orgânica e teor de argila, saturação de bases e capacidade de retenção de água podem atuar na supressão de doenças de plantas direta ou indiretamente por meio de seus impactos na atividade microbiana (Perez-Bradán et al., 2012) mas, majoritariamente, as causas mais estudadas de supressão a doenças tem origem na comunidade de microrganismos, e eventualmente em algumas espécies-chave de antagonistas e processos metabólicos associados a esses grupos. Independentemente do conceito a ser explorado no planejamento de um sistema produtivo ou em projetos de pesquisa, os níveis de supressividade de um solo podem ser encarados como algo sempre a ser melhorado.

### **Solos supressivos no contexto atual da agricultura brasileira**

A sobrevivência dos patógenos e demais componentes biológicos no solo é afetada pelo clima, gerando padrões de variação temporal (Almeida et al., 2001; Lopes et al., 2018). As variáveis ambientais são geralmente entendidas como temperatura, precipitação e umidade do solo, causas de variação conhecidas que influenciam as doenças radiculares e a eficácia das medidas de controle (Raza et al., 2017). Mas considerando que muitos microrganismos têm pelo menos parte do seu ciclo colonizando matéria orgânica morta mais a evidente influência da disponibilidade de plantas hospedeiras, a oferta sazonal de raízes e restos culturais nos solos brasileiros é um fator nutricional importante que afeta a flutuação do inóculo no solo e suas respectivas doenças. Estas variáveis facilitam ou inibem a germinação de propágulos infectantes e induzem a formação de estruturas de resistência, em ambientes adversos.

### **Densidade de inóculo de patógenos e interações no solo**

Em estratégias de manejo de doenças que envolvem rotações de cultura, aporte de matéria orgânica entre outras com objetivo comum de desinfestação do solo, uma medida frequentemente usada para avaliar sua eficácia é a redução da densidade de inóculo, pois as chances de infecção de plantas pelos patógenos radiculares relacionam-se à quantidade do inóculo disponível (Michereff et al., 2005). Estas relações (ex: escleródio/m<sup>2</sup>, número de nematoides/100cc de solo) são importantes, devido à baixa capacidade de redistribuição destes patógenos no solo. Em vários patossistemas, a incidência de doenças pode ser proporcional à densidade de inóculo, como no caso de *R. solani* (Botelho et al., 2007), *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* (Toledo-Souza et al., 2012) e *S. sclerotiorum* (Geraldine et al., 2013). A densidade de inóculo, portanto, constitui uma maneira prática de verificar mudanças no número de propágulos em um determinado período.

Há diversos relatos de redução da infestação de solos por nematoides ou fungos em monoculturas, mas estas observações se concentram em países de clima temperado, onde com frequência se pratica um único cultivo anual (Westphal, 2005). Nos solos tropicais e subtropicais do Brasil, onde o solo pode ser cultivado durante o ano inteiro, esta não é a realidade, e a rotação de culturas no SPD tem sido incentivada como uma das possibilidades de se desinfestar o solo e manejar podridões radiculares e murchas (Toledo-Souza et al., 2008; 2012). Mas a redução na da densidade de inóculo pode não ser suficiente para ter grande influência na ocorrência de doenças, ao menos nas rotações curtas praticadas no Brasil, e que pouco influenciam patógenos com ampla gama de hospedeiras, como *S. sclerotiorum*, *M. phaseolina* e *Meloidogyne* spp., entre outros. Almeida et al. (2001) mostraram que nas condições brasileiras onde o cultivo contínuo de soja é amplamente utilizado pelos agricultores em SPD, pode haver um aumento significativo da podridão de carvão devido ao aumento da sobrevivência de *M. phaseolina* em talhões com histórico da cultura.

Uma das questões em aberto na epidemiologia das doenças radiculares diz respeito à eficiência do inóculo em causar doenças (Campbell; Benson, 1994). Ou seja, os propágulos (unidades que transmitem uma doença) podem ter diferentes potenciais de dano se estiverem em diferentes estados nutricionais, ou podem ter um desempenho diferente quando expostos ao estresse ambiental considerando a mesma densidade de inóculo (Madden et al., 2005).

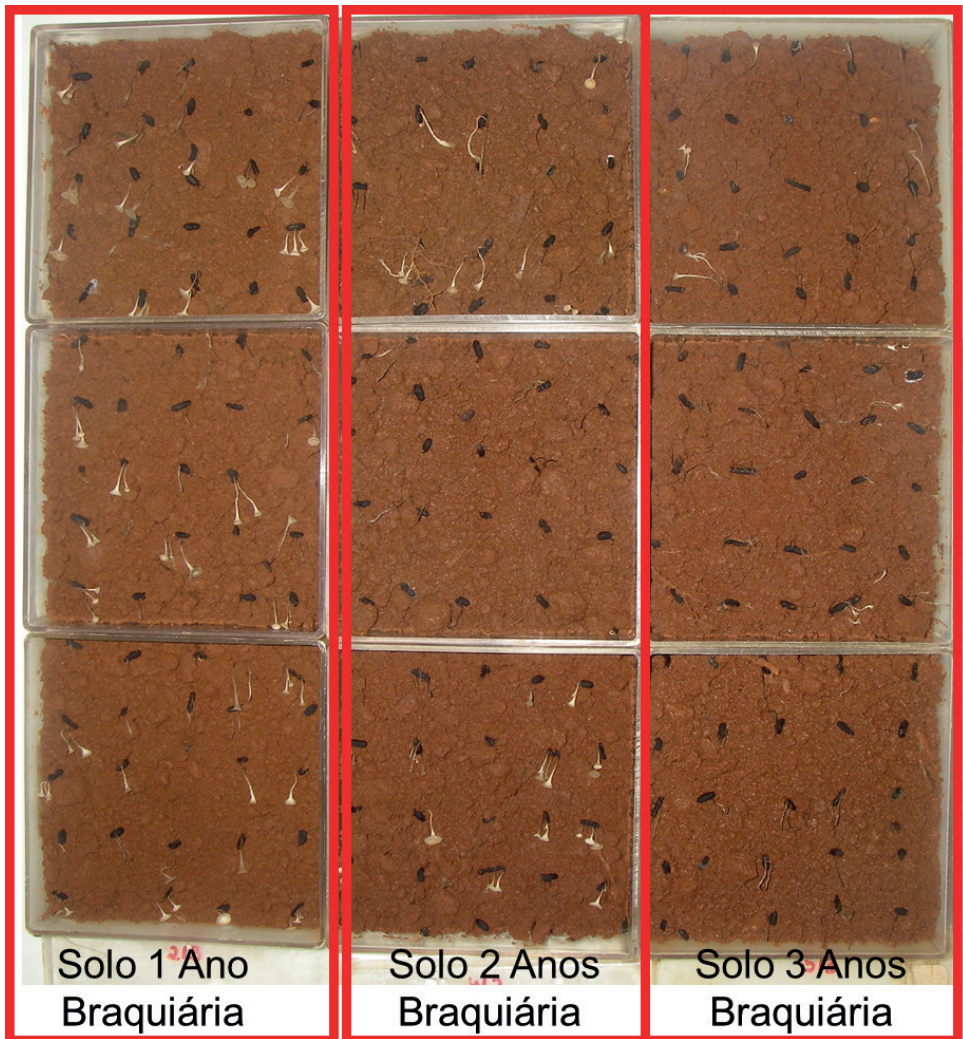
Essa questão do inóculo e da densidade populacional do patógeno está relacionada a um processo dependente da densidade que regula o tamanho da população (Westphal, 2005), e que oscila de acordo com a capacidade de suporte do ambiente e a disponibilidade de recursos que sustentam essas populações. Por exemplo, a competição intraespecífica por recursos nutricionais também regula as populações, e a competição interespecífica no solo pode regular as populações independentes de sua densidade. Vários patógenos habitantes do solo se enquadram em exemplos de mecanismos dependentes da densidade (Parker; Gilbert, 2018).

Portanto, a densidade de inóculo é um fator de risco às culturas, mas se analisada isoladamente pode não explicar bem a ocorrência de doenças. Esta revisão não trata do controle biológico por inundação com o uso massal de antagonistas em pulverizações ou no tratamento de sementes, mas também considera que o uso de bioagentes como *Trichoderma harzianum* e *Pseudomonas fluorescens* (Srivastava et al., 1996) pode ajudar como um acelerador da supressão de doenças ao colaborar na redução do inóculo inicial de patógenos de difícil manejo, como *M. phaseolina*. Além disso, o impacto destes microrganismos formulados com alta concentração de conídios/células viáveis para controle biológico por inundação, em princípio, tem impacto mínimo na comunidade microbiana do solo (Silva et al., 2021) e pode ser uma prática compatível com o controle biológico conservativo.

O fato de um solo estar infestado não quer dizer necessariamente que os propágulos dos patógenos (ou dos demais habitantes) estejam ativos, conforme a competição por nutrientes, sítios de infecção e condições ambientais mencionadas acima possam ser limitantes à sua atividade. Nessas condições, é possível que ocorra a fungistase, capacidade dos solos de inibir a germinação de propágulos viáveis e não dormentes dos fungos sob temperatura e umidade favoráveis, ou o crescimento de hifas é reduzido ou paralisado por condições ambientais que não incluem temperatura e umidade (Watson; Ford, 1972) (vamos lembrar que componentes biológicos, químicos e físicos também fazem parte do ambiente solo).



Conforme revisado por Bonanomi et al. (2017), duas hipóteses não excludentes podem explicar a fungistase: (i) a presença de compostos inibitórios com atividade antifúngica, incluindo os voláteis, e (ii) a liberação de compostos orgânicos lábeis e nutrientes devido à intensa competição entre os microrganismos do solo. Esta pode ser uma explicação plausível para ilustrar a redução da capacidade de germinação carpogênica de escleródios de *S. sclerotiorum* (Figura 2), quando incubados em solos cultivados por períodos diferentes de cultivo de *Urochloa brizantha* (braquiária), em um sistema de integração lavoura-pecuária (Lobo Jr. et al., 2009).



**Figura 2.** Redução da germinação carpogênica de escleródios de *Sclerotinia sclerotiorum* incubados em solos cultivados com braquiária por diferentes períodos.

No Brasil, a recuperação de *M. phaseolina*, por exemplo, aumenta em fragmentos de caules e raízes enterrados, sugerindo que este fungo continua crescendo em restos culturais (Almeida et al., 2001), o que corresponde a um papel importante na epidemiologia de fungos que colonizam matéria orgânica. Recuperar ou desenvolver solos supressivos a doenças, portanto, é um objetivo complexo e importante para suportar a crescente demanda por alimentos e fibras em nosso país. Uma possibilidade de grupo a ser estimulado com o manejo de plantas no SPD são os fungos formadores de micorrizas arbusculares, que além de seus benefícios nutricionais às plantas reduzem a severidade da podridão de carvão em soja (Spagnoletti et al., 2017) e o número de propágulos de *Fusarium solani* em raízes de feijão (Hassam Dar et al., 1997).

É desejável que o manejo dos solos estimule o desenvolvimento não somente de determinados bioagentes amplamente estudados como antagonistas dos fitopatógenos ou promotores de crescimento de plantas, tais como as espécies de *Trichoderma*, *Pseudomonas* e *Bacillus*. Muitos destes habitantes nativos do solo são na verdade multifuncionais, colaborando tanto na proteção das plantas quanto na sua nutrição e crescimento, como as bactérias promotoras do crescimento de plantas. As suas contribuições nos sistemas produtivos incluem o biocontrole, e por isso, antagonistas reconhecidos como espécies chave se sobrepõem aos fenômenos de solos supressores de doenças. Os mecanismos mais bem estudados que conferem a supressão aos patógenos incluem o hiperparasitismo, a produção de antibióticos e sideróforos, a colonização física (preventiva) da rizosfera o endofitismo (colonizam o interior das plantas), a competição interespecífica por recursos, a biodegradação de substâncias tóxicas e a produção de sinais químicos (por exemplo, ácido salicílico) que induzem resistência sistêmica pelas plantas (Lehman et al., 2015).

Ainda que a supressividade específica a determinados patógenos possa ser motivada por um único antagonista (Gardener; Weller, 2001) e atingir bons níveis de controle de doença, a supressão geral ou ampla é condicionada por redes ou consórcios de microrganismos (Mendes et al., 2011, Poudel et al., 2016; Topalovic et al., 2020). O estímulo a estes grupos também é em geral tratado de forma ampla, considerando-se também que dificilmente um único grupo é estimulado com a implantação do SPD, e que a diversidade de espécies benéficas inclui componentes que não são exatamente grandes competidores (Gardener et al., 2005), como parte natural da sua diversidade. Se no caso brasileiro há complexos de patógenos habitantes do solo para se manejar, o estímulo aos consórcios de microrganismos parece uma opção acertada para se atingir níveis crescentes de supressividade. De modo geral, solos com maior biomassa ou diversidade de microrganismos são os mais supressivos às doenças (Postma et al., 2008)

### ***Alguns exemplos de supressividade a doenças da soja em solos brasileiros***

#### ***Rhizoctonia solani***

A supressão de doenças causadas por *Rhizoctonia solani* pode estar associada a plantas “supressoras” a doenças e não a mudanças na composição da comunidade microbiana, talvez por falta de estudos complementares. Por exemplo, o centeio teve desempenho geralmente melhor quando comparado com três espécies de *Brassica* (colza, canola, mostarda), proporcionando ao cultivo subsequente de soja menor severidade de podridão radicular por *Rhizoctonia* e menores populações do nematoide do cisto (*Heterodera glycines*) de soja (Wen et al., 2017). Em solos brasileiros, onde *R. solani* pode ser extremamente

frequente (Blanco et al., 2018), é comum não haver sintomas de podridão de raízes. O índice de doença causada por este patógeno correlacionou-se negativamente com a saturação por alumínio e teor de argila, e positivamente com a saturação de bases e com o pH (Rodrigues et al., 1998).

### *Sclerotinia sclerotiorum*

O efeito das plantas de cobertura do SPD sobre o manejo do mofo branco é obtido mais nitidamente pela camada de palha que limita a germinação de apotécios e liberação de ascósporos de *S. sclerotiorum* no ar, mas esta não é a única ação das gramíneas adotadas para formação de palhada, além da provável fungistase comentada acima (Lobo Jr. et al., 2009). O microclima formado sob o dossel das gramíneas em crescimento estimula a germinação carpo gênica de escleródios sob uma planta não hospedeira (Civardi et al., 2019), e o apodrecimento de raízes após a dissecação com glifosato oferece um aporte de até 12 toneladas ha<sup>-1</sup> de matéria orgânica, que funciona como substrato para o crescimento dos fungos e bactérias endêmicos associados à supressão das doenças. Foi também relatado que as braquiárias, uma das espécies mais populares nos solos tropicais do Brasil para cobertura do solo também abrigam diversos microrganismos endofíticos como *Paraconiothyrium* spp. Estes fungos funcionam como “cavalo de Tróia” porque são liberados no solo após a dessecação e parasitam os escleródios do patógeno (Alves et al., 2021).

### Medidas de supressividade de doenças

Não há uma unanimidade em termos de metodologias para se avaliar a supressividade de solos. Estimativas como ocorrência, incidência e severidade de doenças são sempre necessárias para avaliar progressos e limitações no manejo das culturas. Além destas, vários atributos do solo têm sido estudados na busca por indicadores de supressividade/qualidade/saúde para monitorar o uso da terra, ou a degradação do solo e o efeito de diferentes sistemas de plantio. Estes indicadores de qualidade podem ser diferenciados de acordo com atributos físicos, químicos e biológicos. Os indicadores de atributos biológicos analisam os componentes da microbiota do solo, sua atividade e diversidade. Como os microrganismos e os seus processos relacionados estão intimamente ligados à função do solo, podem servir como referências sensíveis para avaliar as modificações no ambiente.

O carbono da biomassa microbiana tem sido um dos indicadores mais utilizados em estudos de qualidade do solo, pois é um atributo que responde prontamente às mudanças ambientais, muitas vezes de forma mais precoce do que atributos físicos e químicos (Hungria et al., 2009). A biomassa microbiana do solo corresponde à fração da matéria orgânica em que se alojam os organismos vivos com volume menor que  $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ , sendo representados pelos Reinos *Archaea*, *Bacteria*, *Fungi*, *Protozoa*, além de alguns membros do Reino *Animalia*, como é o caso dos nematoides (Moreira; Siqueira, 2006).

A respiração basal do solo pode ser definida como a soma de todas as funções metabólicas do qual o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é gerado no solo (Silva et al., 2007). Os principais responsáveis pela liberação do CO<sub>2</sub> via degradação da matéria orgânica são os fungos e as bactérias e, por essa razão, geralmente a quantidade do CO<sub>2</sub> emitida está relacionada à capacidade de degradação da matéria orgânica pela microbiota heterotrófica, constituindo uma fase fundamental no ciclo do carbono. A respiração basal do solo no campo é influenciada pela temperatura e disponibilidade de água. A interpretação de seus resultados deve ser

feita com critério, uma vez que respiração elevada nem sempre indica condições desejáveis. Altas taxas de respiração podem significar, em curto prazo, alta atividade da biomassa microbiana e rápida transformação da matéria orgânica em nutrientes para as plantas e, em longo prazo, perda de carbono orgânico do solo com possíveis efeitos sobre a supressividade.

Anderson; Domsch (1993) propuseram o termo quociente metabólico ( $qCO_2$ ), definido pela razão entre a respiração basal por unidade de biomassa microbiana do solo por unidade de tempo. Segundo estes autores, o  $qCO_2$  é uma estimativa mais precisa que a biomassa microbiana e a respiração basal para avaliar efeitos ambientais e antropogênicos sobre a biomassa microbiana do solo. Este atributo tem sido amplamente utilizado como indicador de estresse microbiano (limitações de nutrientes, baixo pH, contaminação do solo etc.). Em contrapartida, à medida que a biomassa microbiana se torna mais eficiente na utilização de recursos do ecossistema, menos  $CO_2$  é perdido pela respiração e maior proporção de C é incorporada aos tecidos microbianos, o que resulta em diminuição do  $qCO_2$  (Silva et al., 2007; Hungria et al., 2009).

Atualmente há um esforço por vários grupos de pesquisa no Brasil e no exterior para popularizar as avaliações de bioindicadores tornando-as parte da rotina dos laboratórios comerciais de análise de solo. Dentre diversas opções, avaliar a atividade de enzimas do solo fornece uma avaliação indireta da atividade a comunidade microbiana, e pode revelar respostas rápidas às mudanças no manejo do solo. Recentemente, a Embrapa lançou a tecnologia BioAs, que estabelece metodologias para bioanálise da qualidade do solo de acordo com a quantificação das enzimas aryl-sulfatase e beta-glicosidase. Estas enzimas têm entre suas vantagens serem altamente correlacionados com outros atributos como o carbono da biomassa microbiana, e serem de fácil mensuração (Mendes et al., 2018). Aparentemente ainda não há relatos que correlacionem estes bioindicadores com a incidência e severidade de doenças radiculares e perdas de produtividade (Janvier et al., 2007), o que estimula sua investigação como medida indireta da supressividade a doenças. Espera-se com os avanços das pesquisas que em breve, o produtor, possa ter uma visão ainda mais ampla do solo cultivado.

Os avanços na geração de métodos de sequenciamento de DNA e bioinformática também impulsionaram a comunidade científica interessada em compreender a complexidade da comunidade microbiana em uma ampla gama de ambientes (Mendes et al., 2011). O foco destes estudos não é apenas na composição da comunidade, mas também sobre as potenciais funcionalidades destes microrganismos e suas comunidades.

Os estudos em ecologia microbiana utilizam métodos moleculares para discriminar diferentes manejos de solo e dessa forma elucidar estruturas de comunidades ou estimar sua diversidade por meio de métodos de sequenciamento. Como exemplo, Gardener; Weller (2001) identificaram uma série de mudanças na comunidade microbiana da rizosfera de trigo e aumento da abundância de *Pseudomonas fluorescens* produtoras de 2,4-diacetylphloroglucinol (2,4-DAPG) responsáveis pela supressão ao mal-do-pé causado por *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*, talvez o caso mais conhecido de supressão a doenças em monocultura. Estas cepas de *P. fluorescens* produtoras de 2,4-DAPG diferem na capacidade de colonizar a rizosfera sendo que há genótipos e espécies de plantas com preferência mútua ou “afinidade” entre si. Por exemplo, as cepas do genótipo D têm preferência por trigo e ervilha (Mavrodi et al., 2007).



Ademais, existe uma série de possibilidades de integração de conhecimentos, a partir de métodos fitopatológicos tradicionais e de análise molecular de última geração, para se compreender as interações entre espécies de interesse. Esta visão mais ampla pode ser utilizada para orientar o manejo de doenças radiculares, e planejar os sistemas produtivos para torná-los supressivos e sustentáveis.

### Considerações finais

Solos supressivos são um componente importante para o manejo integrado de doenças radiculares, para a rentabilidade dos cultivos e consequente redução da pegada de carbono da agricultura. A supressividade a doenças pode ser a forma definitiva de alcançar a sustentabilidade agrícola (Hallmann; Kiewnick, 2015), mas pode ser que nem todo solo possa se tornar supressivo, ou que isso exija mudanças ainda não disponíveis nas tecnologias existentes. Há solos supressivos com componentes bem específicos porém, de modo geral, o microbioma diverso é um componente comum e estreitamente relacionado com a estabilidade das funções e serviços oferecidos pelos microrganismos no ecossistema solo (Tilman et al., 2014). Adicionalmente, uma maior diversidade leva à maior resiliência do ecossistema, maior resistência a invasão por espécies exóticas e menor incidência de doenças de plantas veiculadas no solo (Van Elsas et al., 2012). Não faltam no Brasil oportunidades para estimular a diversidade da microbiota do solo para fins de supressividade, especialmente com novos genótipos de plantas de cobertura, consórcios, mix e sistemas integrados (Figura 3).



Foto: Munillo Lobo Júnior

**Figura 3.** Soja cultivada sobre palhada de braquiária em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, na Embrapa Agrosilvopastoril em Sinop, MT.

No solo há dezenas de componentes físicos, químicos e biológicos que interagem entre si, com o clima e com as plantas, e por isso é impossível estabelecer limiares de dano econômico para as doenças radiculares ou ter medidas simples que meçam o grau de supressividade às doenças. Por estes motivos,

é desejável avaliar as doenças e sua associação com indicadores de qualidade do solo. Compreender melhor a composição e funções da comunidade microbiana é também de extrema importância neste contexto, tanto na identificação de fatores que influenciam o equilíbrio microbiológico dos solos, como na caracterização das relações entre grupos de microrganismos. Estas abordagens são ferramentas-chave para o entendimento das respostas dos microrganismos a alterações ambientais promovidas pelo uso da terra e monitoramento das populações que modulam ou contribuem diretamente para a supressão às doenças (Weller et al., 2002). Em termos práticos, a construção de solos supressivos pode ser encarada como um importante componente do manejo integrado de doenças, que pode interagir bem com outras medidas de controle.

## Referências

- ALMEIDA, A. M. R.; SARAIVA, O. F.; FARIAS, J. R. B.; GAUDÊNCIO, C. A.; TORRES, E. Survival of pathogens on soybean debris under no-tillage and conventional tillage systems. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* v.36, p.1231-1238, 2001.
- ALVES, N. M.; GUIMARÃES, R.A.; GUIMARÃES, S. S. C.; FARIA, A.F.; SANTOS, I. A. F. M.; MEDEIROS, F. H. V.; JANK, L.; CARDOSO, P. G. A Trojan horse approach for white mold biocontrol: *Paraconiothyrium* endophytes promotes grass growth and inhibits *Sclerotinia sclerotiorum*. *Biological Control*, v. 160. e104685, 2021.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient of CO<sub>2</sub> (*q*CO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 25, p. 393-395, 1993.
- BAKER, R.; COOK, J. **Biological control of plant pathogens** San Francisco: W. H. Freeman, 1974.
- BLANCO, A. J. V.; COSTA, M. O.; SILVA, R. N.; ALBUQUERQUE, F. S.; MELO, A. T. O.; LOPES, F. A. C.; STEINDORFF, A. S.; BARBOSA, E. T.; ULHOA, C. J.; LOBO JUNIOR, M. Diversity and Pathogenicity of Rhizoctonia Species from the Brazilian Cerrado. *Plant Disease*, v. 101, p. 1, 2017.
- BONANOMI, G.; GAGLIONE, S.A.; CESARANO, G.; SARKER, T.C.; PASCALE, M.; SCALA, F.; ZOINA A. Frequent application of organic matter to agricultural soil increases fungistasis. *Pedosphere*, v.27, p.86-95, 2017.
- BONGIORNO, G.; POSTMA, J.; BÜNEMANN, E.K.; BRUSSAARD, L.; DE GOEDE, R.G.M.; MÄDER, P.; TAMM, L.; THUERIG B. Soil suppressiveness to *Pythium ultimum* in ten European long-term field experiments and its relation with soil parameters. *Soil Biology & Biochemistry* v.133, p. 174-187, 2019.
- BOTELHO, S. A.; RAVA, C. A.; LEANDRO, W. M.; COSTA, J. L. S. Supressividade natural de solos da região centro-oeste a *Rhizoctonia solani* Kühn. *Pesquisa Agropecuária Tropical* v. 31, p. 105-110, 2007.
- CAMPBELL, C. L.; BENSON, D. M. **Epidemiology and management of root diseases**. Berlin: Springer-Verlag, 1994.
- CIVARDI, E. A.; GÖRGEN, C. A.; RAGAGNIN, V. A.; da SILVEIRA NETO, A. N.; CARNEIRO, L. C.; LOBO JUNIOR, M. Management of Congo grass cover crop affects timing of *Sclerotinia sclerotiorum* carpogenic germination and decay of soybean stem rot. *Tropical Plant Pathology*, v. 44, 2019.
- COOK, R. J.; BAKER, K. F. **The Nature and Practice of Biological Control of Plant Pathogens**. Saint Paul: APS Press, 1983.
- Doran, J. W., Sarrantonio, M.; Liebig, M. A. Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy*, v.56, p.1-54, 1996.
- EILEMBERG, J.; HAJEK, A.; LOMER, C. Suggestions for unifying the terminology in biological control. *Biocontrol*, v.46, p.387-400, 2001.
- FAO. **Glossary on Organic Agriculture**. FAO: Rome, 2009. Disponível em [www.fao.org/organicag/oag-glossary/en/](http://www.fao.org/organicag/oag-glossary/en/). Acesso em 09 jan. 2022.
- GARDENER, B. B. M.; WELLER, D. M. Changes in populations of rhizosphere bacteria associated with take-all disease of wheat. *Applied and Environmental Microbiology* v.67, p.4414-4425, 2001.
- GARDENER, B. B. M.; GUTIERREZ, L. J.; JOSHI, R.; EDEMA, R.; LUTTON, E. Distribution and biocontrol potential of *phlD* pseudomonads in corn and soybean fields. *Phytopathology* v. 95, p.715-724, 2005.

- GERALDINE, A. M.; LOPES, F. A. C.; CARVALHO, D. D. C.; BARBOSA, E. T.; RODRIGUES, A. R.; BRANDÃO, R. S.; ULHOA, C. J.; LOBO JUNIOR, M. Cell wall-degrading enzymes and parasitism of sclerotia are key factors on field biocontrol of white mold by *Trichoderma* spp. **Biological Control**, v. 67, p. 308-316, 2013.
- GHINI, R.; ZARONI, M. M. H. Relação entre coberturas vegetais e supressividade de solos a *Rhizoctonia solani*. **Fitopatologia Brasileira** v., p. 26:10-15, 2001.
- HALLMANN, J.; KIEWNICK, S. **Diseases caused by nematodes in organic agriculture**. In: FINCKH, M. R.; VAN BRUGGEN, A. H. C.; TAMM, L. (eds.) Plant diseases and their management in organic agriculture. St Paul: APS Press, 2015, p. 91-105.
- HASSAM DAR, G.; ZARGAR, M. Y.; BEIGH, G. M. Biocontrol of Fusarium Root Rot in the Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by using Symbiotic *Glomus mosseae* and *Rhizobium leguminosarum*. **Microbiology Ecology** v.34, p.74-80, 1997.
- HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; BRANDÃO-JUNIOR, O.; KASCHUK, G.; SOUZA, R. A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 42, n. 3, p. 288-296, 2009.
- JANVIER, C.; VILLENEUVE, F.; ALABOUVETTE, C.; EDEL-HERMANN, V.; MATEILLE, T.; STEINBERG, C. Soil health through soil disease suppression: which strategy from descriptors to indicators? **Soil Biology and Biochemistry** v.39, p.1-23, 2007.
- KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal** v.61, p.4-10, 1997.
- LEHMAN, R.M.; CAMBARDELLA, C.A.; STOTT, D.E.; ACOSTA-MARTINEZ, V.; MANTER, D.K.; BUYER, J.S.; SMITH, J.L.; COLLINS, H.P.; HALVORSON, J.J.; KREMER, R.J.; LUNDGREN, J.G.; DUCEY, T.F.; JIN, V.L.; KARLEN, D.L. Understanding and enhancing soil biological health: the solution for reversing soil degradation. **Sustainability** v.7, p.988-1027, 2015.
- LOBO JUNIOR, M.; BRANDÃO, R. S.; CORRÊA, C. A.; GÖRGEN, C. A.; CIVARDI, E. A.; OLIVEIRA, P. **Uso de Braquiárias para o Manejo de Doenças Causadas por Patógenos Habitantes do Solo**. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado Técnico, 183).
- LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS, F. B.; FIGUEIREDO, C. C.; MALAQUIAS, J. V.; SOUZA, L. M.; MENDES, I. C. Temporal variation and critical limits of microbial indicators in oxisols in the Cerrado, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 12, p. 72-82, 2018.
- MADDEN, L. V.; HUGHES, G.; van den BOSCH, F. **The Study of Plant Disease Epidemics**. St. Paul: APS Press, 2005.
- MAVRODI, O. V.; MAVRODI, D. V.; THOMASHOW, L. S.; WELLER, D. M. Quantification of 2,4-Diacetylphloroglucinol-Producing *Pseudomonas fluorescens* Strains in the Plant Rhizosphere by Real-Time PCR. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 73, p. 5531-5538, 2007.
- MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; LOPES, A. A. C. **Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2018. 24p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 38).
- MENDES, R.; KRUIJT, M.; DE BRUIJN, I.; DEKKERS, E.; VAN DER VOORT, M.; SCHNEIDER, J. H. M.; PICENO, Y. M.; DESANTIS, T. Z.; ANDERSEN, G. L.; BAKKER, P. A.; RAAIJMAKERS, J. M. Deciphering the rhizosphere microbiome for disease-suppressive bacteria. **Science** v.332, p.1097-1100, 2011.
- MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; SEII, A. H.; DIAS, A. R.; JACCOUD FILHO, D. S.; BORGES, E. P.; JULIATTI, F. C.; NUNES JUNIOR, J.; SILVA, L. H. C. P.; SATO, L. N.; MARTINS, M. C.; VENANCIO, W. S. **Eficiência de fungicidas para controle de mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) em soja, na safra 2017/18: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos**. Londrina: Embrapa Soja, 2018. 5p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 140).
- MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; PERUCH, L. A. M. **Inóculo de patógenos radiculares**. In: MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. (Org.). Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais. Recife: Imprensa Universitária da Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2005. p. 93-124.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. atualizada e amplificada. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.
- PARKER, I. M.; GILBERT, G. S. Density-dependent disease, life-history trade-offs, and the effect of leaf pathogens on a suite of co-occurring close relatives. **Journal of Ecology**, v. 106, p. 1829-1838, 2018.
- PEREZ-BRADÁN, C.; ARZENO, J.L.; HUIDOBRO, J.; GRÜMBERG, B.; CONFORTO, C.; HILTON, S.; BENDING, G.D.; MERILES, J.M.; VARGASGIL, S. Long-term effect of tillage systems on soil microbiological, chemical and physical parameters and the incidence of charcoal rot by *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid in soybean. **Crop Protection**, v. 40, p. 73-82, 2012.
- POSTMA, J.; SCHILDER, M. T.; BLOEM, J.; VAN LEEUWEN-HAAGSMA, W. K. Soil suppressiveness and functional diversity of the soil microflora in

organic farming systems. *Soil Biology & Biochemistry* v.40, p.2394-2406, 2008.

POUDEL, R.; JUMPPONEN, A.; SCHLATTER, D. C.; PAULITZ, T. C.; MCSPADDEN GARDENER, B. B.; KINKEL, L. L.; GARRET, K. A. Microbiome Networks: A Systems Framework for Identifying Candidate Microbial Assemblages for Disease Management. *Phytopathology*, v.106, p. 1083-1096, 2016.

RAZA, W.; LING, N.; ZHANG, R.; HUANG, Q.; XU, Y.; SHEN, Q. Success evaluation of the biological control of Fusarium wilts of cucumber, banana, and tomato since 2000 and future research strategies. *Critical Reviews in Biotechnology* v.37, p.202-212, 2017.

RHODES, C. J. The imperative for regenerative agriculture. *Science Progress*, v.100, p. 80-129, 2017.

RODRIGUES, F. A.; CORRÊA, G. F.; SANTOS, M. A.; BORGES FILHO, E. L. Fatores envolvidos na supressividade a *Rhizoctonia solani* em alguns solos tropicais brasileiros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* v. 22, p.239-246, 1998.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo ( $qCO_2$ ). Embrapa Agrobiologia: Seropédica, 2007. 4p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 99).

SILVA, F. A.; VIEIRA, V. O.; CARRENHO, R.; RODRIGUES, V. B.; LOBO JUNIOR, M.; SILVA, G. F.; SOARES, M. A. Influence of the biocontrol agents *Trichoderma* spp. on the structure and functionality of the edaphic microbial community in common bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) inoculated with *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary. *Applied Soil Ecology*, v.168, p.104190, 2021.

SPAGNOLETTI, F.; CARMONA, M.; GÓMEZ, N. E. T.; CHIOCCCHIO, V.; LAVADO, R. S. Arbuscular mycorrhiza reduces the negative effects of *M. phaseolina* on soybean plants in arsenic-contaminated soils. *Applied Soil Ecology*, v.121, p.41-47, 2017.

SRIVASTAVA, A. K.; ARORA, D. K.; GUPTA, S.; PANDEY, R. R.; LEE, M. W. Diversity of potential microbial parasites colonizing sclerotia of *Macrophomina phaseolina* in soil. *Biology and Fertility of Soils* v.22, p.136-140, 1996.

TILMAN, D.; ISBELL, F.; COWLES, J.M. Biodiversity and Ecosystem Functioning. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 45, p. 471-493, 2014.

TOLEDO-SOUZA, E. D.; SILVEIRA, P. M.; LOBO JUNIOR, M.; CAFE FILHO, A. C. Sistemas de cultivo, sucessões de culturas, densidade do solo e sobrevivência de patógenos de solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, p. 971-978, 2008.

TOLEDO-SOUZA, E. D.; SILVEIRA, P. M.; CAFE FILHO, A. C.; LOBO JUNIOR, M. Fusarium wilt incidence and common bean yield according to the preceding crop and the soil tillage system. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* v.47, p. 1031-1037, 2012.

TOPALOVIC, O.; HUSSAIN, M.; HEUER, H. Plants and Associated Soil Microbiota Cooperatively Suppress Plant-Parasitic Nematodes. *Frontiers in Microbiology*, v.11, Article 313, 2020.

VAN ELSAS, J. D.; CHIURAZZI, M.; MALLON, C. A.; ELHOTTOVA, D.; KRISTUFEK, V.; SALLES, J. F. Microbial diversity determines the invasion of soil by a bacterial pathogen. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 109, p. 1159-1164, 2012.

WATSON A. G.; FORD, E. J. Soil fungistasis: a reappraisal. *Annual Review of Phytopathology* v.10, p.327-346, 1972.

WELLER, D. M.; RAAIJMAKERS, J. M.; GARDENER, B. B. M.; THOMASHOW, L.S. Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology*, v. 40, p. 309-348, 2002.

WEN, S.; LEE-MARZANO, S.; ORTIZ-RIBBING, L. M.; GRUVER, J.; HARTMAN, G. L.; EASTBURN, D. M. Suppression of Soilborne Diseases of Soybean with Cover Crops. *Plant Disease* v. 101, p.1918-1928, 2017.

WESTPHAL, A. Detection and Description of Soils with Specific Nematode Suppressiveness. *Journal of Nematology*, v.37, p.121-130, 2005.