

# INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DA QUALIDADE DO SOLO

**Marco Antonio NOGUEIRA**

*Doutor em Solos e Nutrição de Plantas*

*Embrapa Soja*

*Londrina – PR*

*marco.nogueira@embrapa.br*

**Mariangela HUNGRIA**

*Doutora em Ciência do Solo*

*Embrapa Soja*

*Londrina – PR*

*mariangela.hungria@embrapa.br*

**Palavras-chave:** bioindicadores; saúde do solo; biomassa microbiana; atividade microbiana.

## Introdução

Sistemas de produção sustentáveis objetivam atender às necessidades de suprimento de alimentos saudáveis sem comprometer o potencial produtivo do solo a ser preservado para as futuras gerações. Práticas racionais de uso do solo devem subsidiar sistemas produtivos que sejam sustentáveis econômica e ambientalmente, que serão alcançados somente com a manutenção ou recuperação da saúde do solo. Um solo saudável foi definido como sendo “capaz de funcionar como um sistema vivo, dentro dos limites do ecossistema e da forma de uso do solo, para sustentar a produtividade biológica, promover a qualidade do ar e da água, e manter a saúde vegetal, animal e humana” (DORAN; SAFLEY, 1997). Para avaliar a sustentabilidade de um sistema de produção, mudanças em propriedades físicas, químicas e biológicas e os efeitos dessas mudanças na capacidade do solo em possibilitar o desenvolvimento vegetal e manter os serviços ambientais precisam ser monitoradas. Dessa forma, indicadores de qualidade do solo têm sido empregados e interpretados para inferir sobre a sustentabilidade dos sistemas de uso do solo. São vários os indicadores que podem ser empregados como ferramentas de monitoramento, como os físicos, químicos e biológicos, já que a qualidade do solo e a sustentabilidade resulta da interação entre essas propriedades que interagem mutuamente, tendo a matéria orgânica como ponto central aos três.

Entre as características desejáveis de um indicador, destacam-se a simplicidade da avaliação, baixo custo e possibilidade de pronta relação com algum atributo importante para a manutenção da sustentabilidade de um dado ecossistema, natural ou agrícola. Sob esse aspecto, indicadores microbiológicos permitem inferir sobre o funcionamento dos ciclos biogeoquímicos do C e nutrientes, importantes para a manutenção da comunidade vegetal, seja

nativa, seja implantada. O objetivo desse minicurso é apresentar alguns conceitos de qualidade microbiológica do solo e abordar algumas ferramentas para sua avaliação.

## **Ciclos Biogeoquímicos**

Ecosistemas sustentáveis, naturais ou agrícolas, dependem do fluxo de C e nutrientes ao longo da cadeia trófica, que é intermediado pela fauna e microrganismos do solo (CHEN et al., 2003). Por exemplo, em um ambiente natural em equilíbrio, até 95% do N recircula num sistema solo-planta-microrganismos quase fechado (ROSWALL, 1976). Entretanto, após interferências nesse sistema, como a substituição da vegetação nativa por agricultura, o sistema se torna aberto e gera uma demanda por nutrientes devido às exportações pelas colheitas, lixiviação e erosão, os quais precisam ser repostos para manter o sistema produtivo nessa nova condição. Além disso, a dinâmica do C também é alterada e por sua vez tem relação com a ciclagem de nutrientes como N, S e P. Em qualquer ecossistema, a fauna e a comunidade microbiana do solo são considerados essenciais, atuando na mineralização e síntese da matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes, além de influenciar e ser influenciada direta e indiretamente pelas propriedades físicas e químicas do solo, com efeitos diretos na fertilidade do solo e na sustentabilidade daquele sistema. A biota do solo é bastante dinâmica e facilmente influenciada pelas formas de uso e manejo do solo, ou qualquer outro distúrbio. Já as propriedades físicas e químicas do solo podem levar mais tempo para responder a essas alterações. Por essa razão, os organismos do solo e processos por eles realizados são bons indicadores para avaliação da qualidade do solo, pois além de apresentarem rápida resposta, também atuam em importantes processos ecológicos no solo.

## **Atividade e Diversidade Microbiana do Solo**

A atividade e a diversidade microbiana do solo têm importantes papéis na sustentabilidade dos sistemas de produção por manterem funções essenciais na saúde do solo, como a atuação nos ciclos biogeoquímicos (IZQUIERDO et al., 2005). Além disso, a diversidade de espécies contribui para a competição entre os organismos num determinado ambiente, evitando que uma população se sobreponha em uma determinada situação e venha a causar problema, como um patógeno, por exemplo. Um solo com maior diversidade microbiana tem mais chance de manter os processos ecológicos após um distúrbio. Essa capacidade é definida como resiliência e significa um tamponamento biológico contra distúrbios num ecossistema e é geralmente maior em solos de ambientes mais preservados. Por exemplo, solos supressivos a determinados patógenos, dentre outros fatores, apresentam maior atividade e diversidade microbiana em relação aos solos condutivos.

A respiração microbiana do solo pode ser usada como uma medida da atividade microbiana e empregada como indicadora de qualidade, tanto de ambientes agrícolas quanto de ambientes naturais. A substituição da vegetação

florestal nativa reduz a respiração microbiana devido à diminuição das entradas de carbono do solo via superfície ou rizosfera (BINI et al., 2013). Entretanto, sistemas de uso do solo menos impactantes, como os conservacionistas que evitam o revolvimento do solo e mantêm cobertura morta na superfície, contribuem para manter a atividade biológica em níveis mais elevados (BABUJIA et al., 2010).

Além da atividade, a biomassa microbiana é um dos principais indicadores microbiológicos de qualidade do solo. Representa a parte viva da matéria orgânica do solo, formada por bactérias, fungos, protozoários e algas, formando um importante estoque de nutrientes no solo que podem ser rapidamente disponibilizados às plantas devido à sua rápida ciclagem. Ao mesmo tempo, essa imobilização temporária reduz perdas de N por lixiviação ou desnitrificação e de P por fixação, uma vez que os nutrientes ficam protegidos nas células microbianas. A biomassa microbiana de carbono pode representar de 1 a 5% do carbono orgânico total do solo, o que pode representar o equivalente a 2500 kg/ha ou mais de C vivo nos solos tropicais e subtropicais, na forma de células microbianas.

Com base na relação entre respiração e a biomassa microbiana de C é possível calcular o quociente metabólico ( $qCO_2$ ), o qual permite avaliar o estado metabólico dos microrganismos do solo (ANDERSON; DOMSCH, 1993). Segundo esse índice, valores mais elevados representam menor eficiência metabólica, sendo necessária uma respiração mais intensa para a manutenção da biomassa microbiana decorrente de uma condição estressante à comunidade microbiana. O resultado prático de valores elevados de  $qCO_2$  é a maior emissão de  $CO_2$  para a atmosfera, que pode representar mineralização de formas estáveis de C do solo, contribuindo para o aquecimento global.

Além de métodos clássicos empregados para avaliação da qualidade biológica do solo, novas ferramentas se mostram promissoras para auxiliar a melhor compreender mudanças na qualidade biológica do solo decorrentes de seu uso e manejo. Por exemplo, a técnica baseada na amplificação por PCR (reação em cadeia da polimerase) e separação de fragmentos específicos de DNA da comunidade microbiana do solo por eletroforese em gel com gradiente desnaturante (DGGE) (KOZDRÓJ; VAN ELSAS, 2001), e suas variações, permite avaliar a diversidade microbiana independentemente da necessidade de cultivo em meios específicos, mesmo porque a maior parte da comunidade microbiana (95 a 99%) não é cultivável em meios artificiais.

Além da diversidade genética, a diversidade metabólica também se mostra promissora nas avaliações da qualidade do solo. A capacidade de uso de diferentes fontes de carbono pode ser avaliada com o método Biolog Ecoplate® (GARLAND; MILLS, 1991) e possibilita a procura por perfis quantitativos e qualitativos da comunidade microbiana. Considerando que a diversidade metabólica é consequência da diversidade genética, mudanças na expressão gênica em decorrência de alterações no ambiente podem induzir mudanças nos padrões de consumo de fontes de carbono pela comunidade microbiana do solo, o que ajuda a compreender os efeitos das ações antrópicas no ambiente.

A diversidade microbiana do solo pode também ser avaliada pelo perfil

de ácidos graxos (PLFA - *phospholipid fatty acid*) de uma amostra, usados como biomarcadores para revelar a estrutura de comunidades microbianas baseadas em relações filogenéticas (ZELLES, 1999). Diferentes microrganismos apresentam ácidos graxos ligados a ésteres específicos de fosfolipídios, e uma alteração na estrutura da comunidade microbiana também leva a mudanças nos padrões de composição dos PLFA no solo.

## **Enzimas do Solo**

As enzimas do solo podem ter origem animal, vegetal, mas são predominantemente de origem microbiana. Após liberação no solo, podem sofrer interação com partículas coloidais orgânicas e/ou minerais, ficando protegidas da ação de hidrolases. Nessa condição, apresentam uma redução de sua capacidade catalítica, mas se mantêm estáveis por longos períodos, intermediando reações bioquímicas relacionadas à ciclagem do C e de nutrientes, podendo ser relacionadas com a qualidade do solo. Em geral, a atividade enzimática apresenta correlação positiva com o teor de matéria orgânica do solo e com sua atividade microbiana.

A atividade enzimática fornece uma avaliação integrada do estado biológico do solo porque está diretamente relacionada com a comunidade microbiana. Além disso, é de fácil mensuração, e geralmente tem baixo custo, além de apresentar resposta rápida a mudanças no uso e manejo do solo (PEIXOTO et al., 2010), refletindo aspectos do funcionamento do ecossistema.

## **Como Interpretar Resultados de Atributos Microbiológicos e Bioquímicos do Solo**

A qualidade do solo pode ser avaliada por meio de indicadores ou atributos que expressem alterações nos componentes e funções do solo, podendo refletir sua condição de sustentabilidade. Os indicadores devem ser identificados e analisados quanto à sua sensibilidade a mudanças e distúrbios causados pelo uso e manejo. Entretanto, é preciso estudar um conjunto mínimo de indicadores físicos, químicos e biológicos e analisá-los de maneira integrada (LARSON; PIERCE, 1994).

As novas técnicas baseadas em perfis genético, metabólico ou fisiológico são importantes ferramentas no estudo da diversidade biológica do solo. Entretanto, também apresentam limitações inerentes a cada uma, o que pode levar a dúvidas quanto à relação e contribuição da diversidade microbiana com o conceito de qualidade do solo. Assim, uma abordagem polifásica, isto é, envolvendo várias técnicas, seria mais indicada para a interpretação. Assim, os métodos mais modernos de análise devem ser considerados como complementares aos métodos tradicionais, mas não substitutos. Para se precaver de uma interpretação equivocada, um conjunto mínimo de indicadores deve ser considerado em cada caso de estudo para avaliação do efeito da atividade antrópica sobre a qualidade do solo. Frente a esses desafios, o uso de técnicas

de estatística multivariada é uma ferramenta bastante útil para selecionar atributos para avaliação da qualidade do solo, bem como permitir uma visão global dos efeitos do uso do solo em atributos microbiológicos empregados como indicadores de sustentabilidade.

## Considerações Finais

Além da necessidade do constante monitoramento do efeito do uso e manejo do solo sobre suas propriedades físicas, químicas e microbiológicas visando a manutenção da sua qualidade, é importante destacar que os microrganismos do solo são os principais agentes da ciclagem de C e nutrientes do solo, além de apresentarem as mais variadas relações ecológicas entre si e com a comunidade vegetal. Estratégias de uso do solo que contribuam para a atividade e diversidade da comunidade microbiana aumentam a sustentabilidade do sistema de produção, resultando em aumento da produtividade a menor custo, além de minimizar o uso de fertilizantes químicos e pesticidas.

Em última análise, é possível afirmar que, dentre outros fatores, a saúde pública depende de um ambiente saudável e de alimentos saudáveis, características que obrigatoriamente passam por um solo saudável.

## Referências

ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient from  $\text{CO}_2$  ( $q\text{CO}_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology and Biochemistry* 25: 393-395, 1993.

BABUJIA, L.C.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C. & BROOKES, P.C. Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. *Soil Biology and Biochemistry* 42: 2174-2181, 2010.

BINI, D.; SANTOS, C.A.; CARMO, K.B.; KISHINO, N.; ANDRADE, G.; ZANGARO, W. & NOGUEIRA, M.A. Effects of land use on soil organic carbon and microbial processes associated with soil health in southern Brazil. *European Journal of Soil Biology* 55: 117-123, 2013.

CHEN, G.; ZHU, H. & ZHANG, Y. Soil activities and carbon and nitrogen fixation. *Research in Microbiology* 154: 393-398, 2003.

DORAN, J.W. & SAFLEY, M. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. p. 1-28. In: PANKHURST, C.E.; DOUBE, B.M.; GUPTA, V.V.S.R.; eds. *Biological Indicators of Soil Health*. CAB International, New York, NY, USA. 1997.

GARLAND, J.L. & MILLS, A.L. Classification and characterization of heterotrophic microbial communities on the basis of patterns of community-

level sole-carbon-source utilization. *Applied and Environmental Microbiology* 57: 2351-2359, 1991.

IZQUIERDO, I.; CARAVACA, F.; ALGUACIL, M.M.; HERNÁNDEZ, G. & ROLDÁN, A. Use of microbiological indicators for evaluating success in soil restoration after revegetation of a mining area under subtropical conditions. *Applied Soil Ecology* 30: 3-10, 2005.

KOZDRÓJ, J. & van ELSAS, J.D. Structural diversity of microbial communities in arable soils of a heavily industrialized area determined by PCR-DGGE fingerprinting and FAME profiling. *Applied Soil Ecology*, 17:31-42, 2001.

LARSON, W.E. & PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWARD, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, SSSA, 1994. p.37-51.

PEIXOTO, R.S.; CHAER, G.M.; FRANCO, N.; REIS JUNIOR, F.B.; MENDES, I.C. & ROSADO, A.S. A decade of land use contributes to changes in the chemistry, biochemistry and bacterial community structures of soils in the Cerrado. *Antonie van Leeuwenhoek* 98: 403-413, 2010.

ROSSWALL, T. The internal cycle between vegetation, microorganisms and soils. *Ecological Bulletin* 22: 157-167, 1976.

ZELLES, L. Fatty acid patterns of phospholipids and lipopolysaccharides in the characterization of microbial communities in soil: a review. *Biology Fertility of Soils* 29: 111-129, 1999.