

ATRIBUTOS BIOLÓGICOS E MICROBIOLÓGICOS COMO INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

Data de submissão: 19/02/2025

Data de aceite: 05/03/2025

Gilbert Martins Linhares

Acadêmico do curso de agronomia
do Centro Universitário de Mineiros
(UNIFIMES).
<http://lattes.cnpq.br/4549009686253634>

Diego Oliveira Ribeiro

Docente do curso de agronomia do Centro
Universitário de Mineiros (UNIFIMES).
<https://orcid.org/0000-0003-2336-3042>

Gildomar Alves dos Santos

Docente do curso de agronomia do Centro
Universitário de Mineiros (UNIFIMES).
<https://orcid.org/0000-0002-9076-4367>

Zaqueu Henrique de Souza

Docente do curso de agronomia do Centro
Universitário de Mineiros (UNIFIMES).
<https://orcid.org/0000-0002-7733-4768>

João Vitor Rezende Cunha Luciano

Acadêmico do curso de agronomia
do Centro Universitário de Mineiros
(UNIFIMES).
<http://lattes.cnpq.br/5108950655749655>

Andrisley Joaquim da Silva

Acadêmico do curso de agronomia
do Centro Universitário de Mineiros
(UNIFIMES).
<https://orcid.org/0000-0003-0084-0264>

Rogério Machado Pereira

Docente do curso de agronomia do Centro
Universitário de Mineiros (UNIFIMES).
<https://orcid.org/0000-0001-8815-2604>

Jonathan Goularte Silva

Docente do curso de agronomia do Centro
Universitário de Mineiros (UNIFIMES).
<https://orcid.org/0000-0002-2445-0634>

Heitor Araújo Rezende

Acadêmico do curso de agronomia
do Centro Universitário de Mineiros
(UNIFIMES).
<http://lattes.cnpq.br/6425521306113463>

RESUMO: Uma das formas de avaliar o solo é por meio da análise de sua qualidade, sendo determinados alguns atributos que servem como indicadores. Os atributos biológicos e microbiológicos são ferramentas empregadas em diversas pesquisas para indicar se o solo está caminhando para a sustentabilidade ou para a degradação. Os organismos que habitam o solo são classificados de acordo com seu tamanho, sendo divididos em macrofauna, mesofauna, microfauna e microrganismos. A macrofauna é composta por organismos com tamanho superior a 10 mm; a

mesofauna, por organismos cujo comprimento corporal varia de aproximadamente 0,2 a 2 mm; e a microfauna, por aqueles com comprimento inferior a 0,2 mm. Já os microrganismos incluem principalmente bactérias, fungos e algas. Nesta revisão, serão abordados os atributos biológicos que indicam a qualidade do solo: macrofauna, mesofauna e microrganismos. A partir dos resultados obtidos com essas ferramentas, é possível implementar manejos agrícolas capazes de reduzir a degradação do solo e melhorar sua qualidade.

PALAVRAS-CHAVE: Organismos do solo; biomassa microbiana; fauna do solo.

BIOLOGICAL AND MICROBIOLOGICAL ATTRIBUTES AS INDICATORS OF SOIL QUALITY

ABSTRACT: One of the ways to evaluate the soil is through the analysis of its quality, determining some attributes that serve as indicators. Biological and microbiological attributes are tools used in various studies to indicate whether the soil is taking its way towards sustainability or degradation. The organisms that inhabit the soil are classified according to their size, being divided into macrofauna, mesofauna, microfauna and microorganisms. The macrofauna is composed of organisms larger than 10 mm; mesofauna, by organisms whose body length varies from 0.2 to 2 mm approximately; and microfauna, by those with a length of less than 0.2 mm. Microorganisms, on the other hand, mainly include bacteria, fungi, and algae. In this review, the biological attributes that indicate soil quality will be addressed: macrofauna, mesofauna and microorganisms. From the results obtained with these tools, it is possible to implement agricultural management capable of reducing soil degradation and improving its quality.

KEYWORDS: Soil organisms; microbial biomass; soil fauna.

1 | INTRODUÇÃO

O solo está constantemente sendo formado, através do desgaste das rochas por processos físicos e bioquímicos sendo, portanto, um recurso que vai se renovando com o passar do tempo. No entanto, apesar de ser formado constantemente as taxas de formação do solo são muito lentas, sendo, portanto, na escala humana um recurso não renovável. Há milhares de anos o solo vem sendo explorado por atividades antrópicas visando a produção de alimentos, e como consequência, podendo ocasionar o desgaste dos recursos naturais como o solo (LEPSCH, 2011).

A área cultivada em solos mais produtivos do mundo é de cerca de 1,6 bilhões de hectares. Devido a atividade antrópica, cerca de 25 % dos solos do mundo estão sendo degradadas devido às práticas agrícolas que causam erosão hídrica e eólica, perda de matéria orgânica, compactação do solo superficial, salinização e poluição do solo e perda de nutrientes (FAO, 2009). Nesse contexto, a consequência imediata da degradação é o aumento dos processos erosivos afetando o seu potencial produtivo. Apesar de muitas vezes as práticas agrícolas reduzirem a qualidade do solo, as mesmas podem também manter ou até mesmo elevar a qualidade dos solos utilizados nas atividades agropecuárias (SILVA et al., 2016).

A qualidade do solo depende da capacidade que o mesmo funcionará para o benefício humano, de acordo com a composição natural do solo, estando sob fortes influências das práticas de intervenções aplicadas pelo homem. Para avaliar e/ou estimar a qualidade do solo, muitas vezes são utilizados atributos indicadores. Esses atributos indicadores devem apresentar habilidade de reação de acordo com os estímulos aplicados ao mesmo (ARAÚJO et al., 2012). Ou seja, conforme os sistemas de uso e manejo empregados ao solo, esses atributos indicadores devem expressar o grau de impacto ocasionado pelas diferentes práticas agrícolas, objetivando julgar essas práticas no sentido de monitorar as propriedades do solo em relação a sustentabilidade ou a degradação de sua qualidade, assim como ocorre para a água e o ar (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009; ARAÚJO et al., 2012).

Devido à grande preocupação com a qualidade do solo e diversos trabalhos são realizados nessa linha a utilização de indicadores é uma prática constante para avaliação da qualidade do solo. Nesse contexto, o objetivo dessa revisão é apresentar e apontar alguns indicadores mais comuns de qualidade do solo de ordem biológica e microbiológica.

2 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O desenvolvimento deste capítulo sobre a qualidade do solo focando nos organismos biológicos e microrganismos baseou-se em uma revisão abrangente de boletins técnicos, artigos científicos e livros que abordam os principais aspectos sobre a qualidade do solo.

3 | ATRIBUTOS BIOLÓGICOS INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

Devido ao uso indiscriminado da terra pela sociedade e ocasionado a extinção de algumas espécies e modificações e degradação dos habitats naturais a ciência tem utilizado bioindicadores de impactos ambientais. Esses bioindicadores são classificados principalmente em relação às dimensões de sua estrutura corpórea. Muitos desses organismos habitam o solo e podem refletir impactos causados pelas diversas atividades antrópicas (SANTOS et al., 2010; CARNEIRO et al. 2009). Nesta revisão serão abordados os atributos biológicos indicadores de qualidade do solo: macrofauna, mesofauna e microrganismos.

3.1 Macrofauna como atributo biológico indicador de qualidade do solo

A macrofauna é composta principalmente por minhocas, cupins, formigas, coleópteros, Arachnida, Myriapoda e outros (MOREIRA E SIQUEIRA, 2006; KORASAKI et al., 2013). Para ser considerado organismos nessa classe o comprimento de seu corpo deve estar na faixa de 2 e 20 mm (SANTOS et al., 2010) ou mesmo maior do que 2 mm (KORASAKI et al., 2013).

A fragmentação do material orgânico fresco ocorre pela atividade de organismos pertencentes a macrofauna, posteriormente o material deteriorado será decomposto por fungos e bactérias (KORASAKI et al., 2013). Esses animais são de extrema importância para os processos biológicos envolvendo a transformação de resíduos orgânicos de diversas origens. Exercem papel importante no transporte de materiais, para a confecção de ninhos, construção de galerias no solo, em que a profundidade pode ser variada, outro efeito da macrofauna é a contribuição direta na estruturação do solo e também na química do solo, modificando a distribuição de nutrientes para as plantas (SANTOS et al., 2010; KORASAKI et al., 2013).

Os organismos do solo correspondente a macrofauna respondem às diversas intervenções antrópicas realizadas no ambiente. A diversidade e a densidade desses organismos, além da presença de determinados grupos específicos em um sistema podem ser utilizados como indicadores da qualidade do solo (SANTOS et al., 2010; KORASAKI et al., 2013). Dependendo do tipo e da intensidade do impacto promovido no ambiente as práticas antrópicas podem ter efeitos sobre determinadas populações, ou seja, diminuir ou mesmo não influenciar a diversidade e densidade de organismos edáficos (BARETTA et al., 2011).

A macrofauna pode ser influenciada pela textura do solo, tipo de uso e manejo do solo, manejo dos restos culturais (SANTOS et al., 2016), estação do ano (AZEVEDO et al., 2016), plantas de cobertura do solo (SANTOS et al., 2010) entre outros fatores. Mesmo em áreas de proteção natural ocorrem diferenças na macrofauna edáfica, sendo a maior quantidade de insetos em matas úmidas e também ocorrendo predomínio na estação chuvosa do que na estação seca do ano, ocorrendo maior predominância em áreas de proteção ambiental insetos da Ordem Coleoptera (AZEVEDO et al., 2016).

Já em ambientes agrícolas ocorre alterações na macrofauna edáfica quando sistemas de mata natural é convertido para atividade produtora grãos. Entretanto quando a conversão ocorre através de sistemas conservacionistas como o plantio direto, o mesmo pode ser recomendado como um sistema conservacionista pois reduz os impactos na macrofauna quando comparado com sistema de manejo convencional, ocorre maior número de famílias nesse tipo de manejo do solo do que em plantio convencional, estando próximo o plantio direto de áreas de vegetação de Cerrado Nativo (SANTOS et al., 2016). Esses mesmos autores, verificaram também que solos argilosos predominam que em vegetação nativa de cerrado ocorre o predomínio de grupos geófago/bioturbador, fitófago/praga e predador/parasita. Áreas de PD apresentam tendência de associação com grupo detritívoro/decompositor. Verificaram também que a textura influencia grupos distintos, solos argilosos e com o predomínio de areia fina predominam grupos geófago/bioturbador, silte está relacionado à grupos fitófago/praga e predador/parasita, e areia grossa está relacionada ao detritívoro/ decompositor.

Também plantas de cobertura do solo podem levar a diferenças na densidade e diversidade. Em solos do Cerrado Goiano Santos et al. (2010) verificaram maior densidade de indivíduos em áreas cultivadas com feijão quando enquanto e maior diversidade observadas em áreas com o cultivo de sorgo, em áreas cultivadas após 5 anos de plantio direto e adoção de diferentes plantas de cobertura do solo. Outro fator que pode influenciar a atividade da macrofauna como as formigas é a presenças de contaminantes como é o chumbo, em áreas sob influência de metalúrgica no estado do Paraná, conforme relatado por Barros et al. (2010), em locais de deposição de dejetos da metalúrgica ocorre maior acúmulo desse elemento na massa corpórea desses animais acumulando cerca de 84,6 mg kg⁻¹ na massa seca desses organismos, sendo superior em mais de 7 vezes quando comparado a área nativa sem interferência de mineração.

A macrofauna do solo pode realizar processos que são denominados de funções ecológicas. As funções ecológicas essas que são realizadas pela biodiversidade que afetam diretamente vários processos biológicos presentes no solo denominados serviços ambientais (despoluição de cursos d'água, dispersão de sementes, manutenção e formação do solo). Os serviços ambientais são todas as funções ecológicas realizadas pelos organismos que de alguma forma, são importantes economicamente para o homem. Portanto, a sua utilização como atributo biológico indicador de qualidade do solo é relevante para a ciência afim de verificar a qualidade do solo.

3.2 Mesofauna como atributos biológicos indicadores de qualidade do solo

A mesofauna compreendem grupo de organismos cujo comprimento do apresenta aproximadamente 0,2 a 2 mm, os principais representantes dessa classe são os ácaros, colêmbolos, alguns adultos e imaturos de coleópteros, imaturos de Dipteros, alguns representantes de Isoptera e Oligochaeta (Minhocas) principalmente da família Enchytraeidae (MOREIRA E SIQUEIRA, 2006; MORAIS et al., 2013). Os representantes mais numerosos desse grupo são o ácaros e os collembolos (BARETTA et al., 2011). Estima-se que exista cerca de 950 espécies no mundo e apenas 47 ocorrem no Brasil, sendo que a maioria foi registrada na Região Sudeste (MORAIS et al., 2013).

A família Enchytraeidae, compreendem pequenas minhocas que apresentam no máximo 40 mm de comprimento são hermafroditas, podem viver em ambientais tanto aquáticos como terrestres, a sua estrutura corpórea não apresentam pigmentação, o que faz serem frequentemente confundidos com nematóides (MORAIS et al.,). Esses animais apresentam baixa locomoção devido ao seu tamanho limitado sendo encontrados em maiores frequências nos primeiros 5 cm do solo, quando encontrados em maiores profundidades (20 cm), ocorre quando utilizam galerias de minhocas. São importantes na decomposição de matéria orgânica e na microporosidade (BARETTA et al., 2011; MORAIS et al., 2013).

Os collembolos exercem importante papel na decomposição e ciclagem de nutrientes no solo. Esses organismos atualmente são classificados como hexápodes (sem asas) não insetos. Apresentam 3 pares de pernas diferenciando-se da classe dos insetos principalmente por possuírem como características bucais localizadas internamente à cavidade oral. Apresentam no abdômen uma estrutura denominada “fúrcula”, o que lhes permitem saltarem a alturas de aproximadamente 10 cm. Esses animais são amplamente distribuídos pelo mundo adaptando-se a diversos locais e devido ao seu pequeno tamanho são pouco conhecidos (BARETTA et al., 2011; MORAIS et al., 2013).

Uma grande dificuldade em estudo com comunidade de colêmbolos é a falta de taxonomistas disponíveis e o seu agrupamento em relação ao agrupamento de espécies quanto à sua adaptação as características do solo (FILHO et al., 2016). Os principais predadores desse grupo são os ácaros, besouros e aranhas (BARETTA et al., 2011).

A mesofauna pode ser indicativo de qualidade do solo em áreas influenciadas por extração de metais. Estudando a influência de contaminantes como o chumbo (Pb) Barros e colaboradores (2010), verificam que o número total de organismos na mesofauna não são bons indicadores de qualidade ambiental, mas sim grupos específicos presentes na mesofauna como Arachnida e psocoptera foram os maiores indicadores de qualidade. Esses mesmos autores também verificaram que a mesofauna foram composta principalmente por Ácaros e collembolos, observaram que a população desses organismos chegou a atingir 273,49 e 79 indivíduos dm^{-3} correspondendo a até 85 e 25% respectivamente, do total da mesofauna.

A mesofauna do solo é influenciada pela cobertura vegetal, onde o número de indivíduos, foram maiores com o maior número de espécies vegetais. Onde o consórcio entre as espécies ervilhaca/nabo/aveia preta, apresentando as maiores populações com 343 indivíduos correspondendo a 57% do total de indivíduos coletados (SILVA et al., 2013).

4 | ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS COMO INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

Os microrganismos são responsáveis diretos pelo funcionamento do solo, pois atuam processos de decomposição dos resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, formação da matéria orgânica do solo, biorremediação de poluentes e agrotóxicos. Portanto, a sua avaliação justifica-se como atributos indicadores de qualidade do solo (MOREIRA E SIQUEIRA, 2006; MENDES, 2016). Nessa revisão serão abordados os seguintes atributos indicadores de qualidade do solo: Biomassa microbiana, respiração microbiana e atividade enzimática.

4.1 Biomassa microbiana

A biomassa microbiana do solo (BM) é considerada a parte viva do carbono orgânico do solo, representando em torno de 2 a 5% do total deste elemento no solo e também equivalendo de 1 a 5 % do N-total presente na Matéria orgânica do solo (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006; CARNEIRO et al., 2009). A BM pode ser superior a produtividade de muitas culturas podendo exceder mais de 10 Toneladas ha⁻¹ (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Esta parte viva presente no solo é composta por diferentes tipos de microorganismos, entre eles pode-se destacar: fungos, bactérias, actinomicetos que atuam no processo que vão desde a formação solo (processo de intemperização) até a decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, biorremediação de áreas contaminadas por poluentes entre outros (REIS JÚNIOR e MENDES, 2007).

A BM é proporcionalmente a menor fração do C orgânico do solo e constitui uma parte significativa e potencialmente mineralizável do N e P disponível para as plantas, e está diretamente relacionada com a MOS (VICENTE e ARAÚJO, 2013). Controla a decomposição e o acúmulo de matéria orgânica no solo e também as transformações envolvendo os nutrientes minerais. Por atuarem no processo de mineralização/imobilização são considerados fonte e ao mesmo tempo dreno de nutrientes (REIS JÚNIOR e MENDES, 2007). Apresenta rápida ciclagem, responde intensamente a oscilações de umidade e temperatura, ao cultivo e ao manejo de resíduos. Devido as alterações na biomassa ela tem sido relatada com um atributo biológico bastante sensível as alterações de manejos adotados em sistemas agrícolas (D'ANDREA et al., 2002; CARDOSO et al., 2009; VICENTE e ARAÚJO, 2013).

A biomassa microbiana também representa o compartimento central do ciclo do C, do N, do P e do S no solo e pode funcionar como compartimento de reserva desses nutrientes ou como catalisador na decomposição da matéria orgânica. Nesse sentido, estudando esse atributo microbiológico em áreas de pastagens, Vicente e Araújo (2013) verificaram correlação com os teores de C-orgânico e diversas variáveis da fertilidade do solo (pH, porcentagem de argila, Ca, Mg, P, CTC e V%), exceto o elemento K.

Além dos fatores de ambiente, a quantidade e a qualidade dos resíduos vegetais depositados sobre o solo podem alterar consideravelmente a BM (SOUZA et al., 2010). A substituição de floresta nativa para pastagem, podem reduzir o carbono microbiano em mais de 40%, saindo de área de Floresta nativa, onde apresentou valor de 486 para 280 microgramas de carbono por grama de solo seco em pastagem com *Urochloa decumbens* com 27 anos de implantação (CARDOSO et al., 2009). Em áreas Nativa de Cerrado quando convertida para pastagens e área com o plantio de culturas anuais em sistema de plantio convencional a BM pode reduzir em 49 e 73%. Nas áreas nativas usualmente é comum ocorrer maior BM devido ao maior teor de carbono e também maior serapilheira, além de apresentar maior diversidade de compostos orgânicos favorecendo o crescimento de grupos distintos de microrganismo, além da menor perturbação do solo (D'ANDREA et al., 2002).

Vargas e Scholles (2000), estudando a Biomassa Microbiana em Argissolo Vermelho distrófico típico, na camada de 0-15 cm do solo encontraram valores de 105 e 303 mg C kg⁻¹ de solo em sistema de Plantio Convencional e Plantio Direto, respectivamente. Além de observarem que o tipo de cobertura vegetal e o uso de rotação de culturas influenciaram os valores da BM, tendo valores mais elevados em sistemas que foram adicionados uma maior variedade de espécies. Também avaliando sistema a BM em Plantio Direto e Plantio convencional, Franchini et al. (2007) observaram que os teores do C-BM foram de 2,4 e 1,7 % do Carbono Orgânico Total (COT), e de 5,2 e 3,2% do Nitrogênio Total, respectivamente, em sistemas de Plantio Direto e Plantio Convencional.

Devido a maior sensibilidade em tempo mais rápido a BM pode ser uma ferramenta preditiva a fim de verificar se diferentes sistemas de manejos estão levando a sustentabilidade ou a degradação de determinados sistemas de uso e manejos adotados ao solo. Portanto, pode ser utilizada como uma ferramenta e a partir de seus resultados adotar medidas corretivas antes mesmo de evitar a perda da qualidade do solo (CARDOSO et al., 2009).

4.2 Respiração microbiana do solo e quociente metabólico (qCO₂)

A respiração microbiana do solo já vem sendo usada há muito tempo para avaliar a atividade dos microorganismos no solo. A mesma representa a oxidação da matéria orgânica por organismos aeróbicos, ou seja, utiliza O₂ comoceptor final de elétrons e liberação de CO₂ (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006; ARAUJO & MONTEIRO, 2007). Essa metodologia representa a atividade metabólica de microrganismos principalmente de bactérias e fungos (SILVA et al., 2010). A determinação da respiração microbiana usualmente é medida através da medida de O₂ consumido ou pela produção de CO₂. O método mais freqüente é realizado pela determinação do CO₂ liberado, podendo ser realizado por titulação, através de NaOH ou KOH (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Devido a menor concentração de CO₂ na atmosfera (0,033%) do que do O₂ (20%), a sua avaliação é mais sensível, sendo utilizada com mais frequência, pois é uma metodologia simples e barata (ARAUJO & MONTEIRO, 2007).

A respiração microbiana reflete a atividade dos microrganismos do solo que promovem a decomposição de resíduos orgânicos, sendo bastante utilizada para indicar a qualidade do solo (WANG et al., 2002). Uma alta taxa de respiração pode ser considerada uma característica desejável, visto que, torna os nutrientes disponíveis para as plantas mais rapidamente. Ao mesmo tempo, uma alta respiração da microbiota, pode caracterizar condição de estresse ao solo provocado por manejos incorretos (SILVA et al., 2010). Portanto, seus resultados devem ser avaliados criteriosamente a fim de reduzir interpretações equivocadas.

Além da respiração microbiana do solo outro fator que pode ser levado em consideração é o quociente metabólico (qCO_2), sendo determinado pela razão entre a respiração basal por unidade de biomassa microbiana do solo por unidade de tempo. Indica a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono disponível para biossíntese, sendo sensível indicador para estimar a atividade biológica e a qualidade do substrato e avaliação dos efeitos ambientais e antrópicos sobre a atividade microbiana do solo (CARNEIRO et al., 2009; BELO et al., 2012). Na medida em que a biomassa microbiana se torna mais eficiente na utilização de recursos do substrato, menos CO_2 é perdido pela respiração e maior a porção de C é incorporada aos tecidos microbianos (SILVA et al., 2010). Neste sentido, Wang et al. (2002) observaram redução do qCO_2 em 32% em sistemas de Plantio direto quando comparado com sistemas de plantio convencional, indicando uma maior taxa de respiração microbiana em sistema de manejo onde há incorporação de restos culturais.

A incorporação de áreas nativas de cerrado para a atividade agrícola e pecuária pode levar a alterações nos atributos microbiológicos como a respiração basal e o quociente metabólico. Assim, áreas de Cerrado nativo quando convertido para pastagens, podem elevar o qCO_2 , o que pode indicar a degradação utilizando esse sistema de uso e manejo do solo (CARNEIRO et al., 2009). Outro fator que pode influenciar a respiração basal e o qCO_2 é o uso de diferentes plantas de cobertura do solo, nesse sentido Silva et al. (2010) verificaram maior taxa de respiração basal e quociente metabólico quando a planta de cobertura do solo foi com a utilização de capim Mombaça e Brachiária respectivamente. Altos valores de qCO_2 , podem indicar que esses sistemas apresentam algum distúrbio ou tensão (CARNEIRO et al., 2009; BELO et al., 2012). Resíduos de diferentes plantas podem também alterar a respiração basal e o qCO_2 , estudando diferentes resíduos de gramíneas e leguminosas Belo e colaboradores (2012), verificaram que ocorre diferenças nessas variáveis em espécies de gramíneas e leguminosas, onde os valores de qCO_2 variaram de 9 a 22 $mg\ CO_2\ mg^{-1}\ C\ dia^{-1} \times 10^{-3}$ para as gramíneas e de 13 a 24 $mg\ CO_2\ mg^{-1}\ C\ dia^{-1} \times 10^{-3}$ para as leguminosas.

4.3 Atividade enzimática do solo

As enzimas têm participação essencial nos processos relacionados à qualidade do solo, pois é através delas que os microorganismos do solo degradam diferentes moléculas orgânicas complexas em moléculas mais simplificadas podendo desta forma ser assimilados (MARCHIORI JÚNIOR & MELO, 1999). Além disso, permite que os microorganismos tenham acesso a energia e nutrientes presentes em substratos complexos, as enzimas extracelulares são responsáveis pela decomposição e mineralização de nutrientes presentes no solo, disponibilizando-os para as plantas e promovendo a ciclagem destes (BALOTA et al., 2013).

As fontes de enzimas para o solo são originadas principalmente dos microrganismos, sendo também produzidas pelos vegetais e fauna edáfica (BALOTA et al., 2013). Os microrganismos produzem enzimas extracelulares, responsáveis pela quebra de moléculas de elevado peso molecular, enzimas que, posteriormente, podem ficar na solução do solo (MARTINEZ et al., 2008). As enzimas também podem ser liberadas pela morte e lise celular dos microrganismos ou ainda por modificação da permeabilidade celular (BALOTA et al., 2013). Algumas enzimas das enzimas estudadas são: Desidrogenase, nitrogenase, uréase, celulase, fosfatases, celulase, protease e B-glicosidade (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006; BALOTA et al., 2013).

Enzimas recém produzidas extracelularmente por células vivas ou liberadas pela ruptura de células recém mortas normalmente têm altos níveis de atividade no solo. Na ausência de novas sínteses, as concentrações destas enzimas podem diminuir rapidamente, devido à vulnerabilidade a hidrólises por proteinases microbianas ou reações com argila e colóides do solo (BALOTA et al., 2013).

A atividade microbiana é extremamente influenciável pelo manejo do solo, conseqüentemente a atividade enzimática também é alterada com o manejo deste, e como todas as reações microbiológicas ocorre por enzimas a mesma é um indicador bioquímico sensível as alterações ocorridas no ambiente rizosférico. Podendo ser mensuradas e avaliadas para mudanças ocorridas no solo por diferentes manejos (CARNEIRO et al., 2009).

Neste sentido Vallejo et al. (2010), avaliando pastagem, floresta nativa e uma cronosequencia de sistema silvopastoril, com 3 a 6, 8 a 10 e 12 a 15 anos de implantação em solo de clima tropical na Colômbia, observaram que a maior atividade enzimática da uréase e fosfatase ácida e o maior teor de carbono orgânico foi verificado em sistemas silvopastoril com 12 a 15 anos de idade, sendo ainda , verificando que mudanças no manejo afetam a microbiota e conseqüentemente a sua atividade enzimática nos primeiros anos de implantação de um sistema. Posteriormente pode levar há um aumento dos mesmos e sua atividade, em manejo que não visam incorporação de restos vegetais.

Outros autores também observaram redução na atividade enzimática em área sob cultivo com algodoeiro por 10 anos apresentando atividade de amilase 81, 64 e 54% menor, em relação à Mata Natural, para as profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, respectivamente (MARCHIORI JÚNIOR e MELO, 1999). Os mesmos autores verificaram que na pastagem com 20 anos na camada de 0-10 e 10-20 cm a atividade da enzima amilase foi menor 36% em relação à Mata Natural. Já a enzima celulase em pastagem com 25 anos, apresentou atividades 47 e 74% maiores em comparação à Mata Natural, para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. Que foi ocasionado possivelmente pela entrada de substrato enriquecido com celulose, sugerindo entrada de substrato enriquecido em celulose no agrossistema, causando síntese de novas moléculas de celulase.

Em Latossolo e Neossolo a atividade das enzimas uréase e fosfatase ácida podem sofrer influência de diferentes sistemas de uso de manejo do solo conforme relatado por Carneiro et al. (2009). Em Neossolo sob plantio direto a atividade da uréase pode ser superior até mesmo a área de Cerrado Nativo, já a fosfatase ácida apresentou menor em área de pastagem. Por outro lado, o Latossolo apresentou comportamento distinto em relação à enzima Urease, sendo maior em área de Cerrado Nativo, e menor nos demais sistemas de uso e manejo do solo (Pastagem, Milheto em PD, Nabo em PD, Sorgo em PD). Outro fator que influencia a atividade enzimática é distintos resíduos vegetais adicionados ao solo, Belo e colaboradores (2012) verificaram que a atividade da uréase foi maior em solo sob resíduo de feijão de fava do que outras leguminosas (Feijão guandú, Feijão de Porco, Crotalaria, Leucena e Serapilheira). Já em diferentes gramíneas esses mesmos autores verificaram menor atividade dessa enzima em solo sob resíduo de sorgo do que outras gramíneas (Cana, Napier, Braquiária, Milho e Serapilheira). Nesse mesmo estudo a atividade da fosfatase não sofreu influência com esses diferentes resíduos vegetais sob o solo.

A atividade enzimática pode ser influenciada por diferentes manejos, diferentes tipos de cobertura vegetal, sendo um indicador bioquímico das mudanças ocorridas no solo, podendo até mesmo ser alterada com manejos adotados ao solo.

4.4 Interpretação de alguns bioindicadores

Devido à necessidade de estabelecer critérios nas avaliações microbiológicas surgiu a necessidade de criar valores para algumas variáveis microbiológicas com o objetivo de verificar a atividade a qualidade do solo, conforme segue na Tabela 1.

Classificação	C- Biomassa Microbiana	Respiração Basal	Fosfatase Ácida
	-----mg C Kg Solo ⁻¹ -----		mg de p-nitrofenol Kg Solo ⁻¹
Baixo	<215	<40	<680
Moderado	216 a 375	41 a 90	681 a 1160
Adequado	>375	>90	>1160

Tabela 1. Interpretação de Bioindicadores microbiológicos para Latossolos Vermelhos argilosos do Bioma Cerrado na camada de 0 a 10 cm, com base no rendimento acumulado de grãos de Soja e Milho. Amostras coletadas na fase de floração e com solo úmido

Fonte: Adaptado de Mendes. (2014).

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversos atributos já foram identificados e alguns classificados para avaliar a qualidade do solo. Apesar de muitas informações já obtidas sobre a qualidade do solo, a relação entre a comunidade científica e a comunidade produtora ainda está bastante estreita. Nesse sentido, necessitando de uma maior aproximação com o objetivo em comum de produzir alimentos de uma forma sustentável com o intuito de melhorar ou mesmo manter a qualidade do solo. Portanto programas de extensão que envolvam a comunidade produtora e científica seriam talvez uma forma de aproveitamento dos estudos já realizados e com isso tomar decisões mais acertadas e produzir alimentos com maior qualidade e manutenção das unidades produtoras rurais.

REFERÊNCIAS

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO). **Escassez e degradação dos solos e da água ameaçam segurança alimentar**: 25% dos solos do planeta estão degradados, aponta avaliação inédita da FAO; Desgaste afetará produção mundial de alimentos. 2009. Disponível em: <<http://www.fao.org.br/edsaasa.asp>>. Acesso em: 03 jan. 2018.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores Biológicos de Qualidade do Solo. Biosci. J., Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

ARAÚJO, Edson Alves de; KER, João Carlos; NEVES, Júlio César Lima; LANI, João Luiz. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia, Guarapuava, v. 05, n. 01, p.1984- 7548, 2012.

BALOTA, Elcio Liborio; NOGUEIRA, Marco Antonio; MENDES, Iêda Carvalho; HUNGRIA, Mariangela; FAGOTTI, Dáfila Santos Lima; MELO, Gabriel Maurício Peruca; SOUZA, Renata Carolini; MELO, Wanderley José de. Enzimas e seu papel na qualidade do solo. In: ARAÚJO, Adelson Paulo; ALVES, Bruno José Rodrigues. Tópicos em Ciência do Solo. 8. ed. Viçosa: Sbc, 2013. Cap. 5. p. 189-250.

BARETTA, Dilmar; SANTOS, Julio Cesar Pires; SEGAL, Julia Corá; GEREMIA, Eliana Vera; OLIVEIRA FILHO, Luís Carlos Iuñes de; ALVES, Mauricio Vicente. Fauna Edáfica e Qualidade do Solo. In: KLAUBERG FILHO, Osmar; MAFRA, Alvaro Luis; GATIBONI, Luciano Golpo. Tópicos em Ciência do Solo. 7. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. Cap. 4. p. 141-181.

BARROS, Yara Jurema; MELO, Vander de Freitas; DIONÍSIO, Jair Alves; OLIVEIRA, Edilson Batista de; CARON, Leandro; KUMMES, Larissa; AZEVEDO, Júlio César Rodrigues de; SOUZA, Luiz Cláudio de Paula. INDICADORES DE QUALIDADE DE SOLOS EM ÁREA DE MINERAÇÃO E METALURGIA DE CHUMBO. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 34, n. 01, p.1397-1411, 2010.

BELO, Emiliane dos Santos; TERRA, Flávia Dias; ROTTA, Leonardo Ricardo; VILELA, Larissa Assis; PAULINO, Helder Barbosa; SOUSA, Edicarlo Damascena; VILELA, Laíze Aparecida ferreira; CARNEIRO, Marco Aurélio. DECOMPOSIÇÃO DE DIFERENTES RESÍDUOS ORGÂNICOS E EFEITO NA ATIVIDADE MICROBIANA EM UM LATOSSOLO VERMELHO DE CERRADO. Global Science And Technology, Rio Verde, v. 05, n. 03, p.107-116, 2012.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagens cultivada e nativa no Pantanal. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 44, n. 06, p. 631-637, 2009.

CARNEIRO, Marco Aurélio Carbone; SOUZA, Edicarlos Damacena de; REIS, Edésio Fialho dos; PEREIRA, Hamilton Seron; AZEVEDO, Watson Rogério de. ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE SOLO DE CERRADO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n. 01, p.147-157, 2009.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N. SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 1, n. 26, p.913-926, 2002.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos cerrados no sul do estado de goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, n. 01, p.1047-1054, 2002^a

KORASAKI, Vanesca; MORAIS, José Wellington de; BRAGA, Rodrigo F. Macrofauna. In: MOREIRA, Fátima Maria de Souza; CARES, Juvenil e; ZAMETTI, Ronald; STURMER, Sidney L. O Ecossistema Solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. Lavras: Ufla, 2013. Cap. 7. p. 119-138.

LEPSCH, I. F. 19 Lições de Pedologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. Carbono, Carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, n23 p. 257 -263, 1999.

MARTÍNEZ V. A. et al. Long-term soil microbial community and enzyme activity responses to an integrated cropping-livestock system in a semi-arid region. *Agriculture. Ecosystems and Environment*. p. 231-240, 2008.

MENDES, Iêda de Carvalho. Indicadores biológicos de qualidade do solo em sistemas de plantio direto no Brasil: estado atual e perspectivas futuras. In: MOREIRA, Fátima Maria de Souza; KASUYA, Maria Catarina Megumi. Fertilidade e Biologia do Solo: Integração e tecnologia para todos. Viçosa: SbcS, 2016. Cap. 309. p. 309-334.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e Bioquímica do Solo. 2 ed Lavras: Ufla, 2006. 729 p

MORAIS, José Wellington de; OLIVEIRA, Fábio Gonçalves de Lima; BRAGA, Rodrigo Fagundes; KORASAKI, Vanesca. Mesofauna. In: MOREIRA, Fátima Maria de Souza; CARES, Juvenil e; ZAMETTI, Ronald; STURMER, Sidney L. O Ecossistema Solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. Lavras: Ufla, 2013. Cap. 10. p. 183-200.

REIS JÚNIOR, F. B.; MENDES, I. C. Biomassa Microbiana do Solo. 1^a Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 40 p.

SANTOS, Djavan Pinheiro; SANTOS, Glenio Guimarães; SANTOS, Isis Lima dos; SCHOSSLER, Thiago Rodrigo; NIVA, Cíntia Carla; MARCHÃO, Robélio Leandro. Caracterização da macrofauna edáfica em sistemas de produção de grãos no Sudoeste do Piauí. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Viçosa, v. 51, n. 09, p.1466-1475, 2016.

SANTOS, Glênio Guimarães; SILVEIRA, Pedro Marques da; MARCHÃO, Robélio Leandro; MECQUER, Thierry; BALBINO, Luiz Carlos. Plantas de cobertura e macrofauna do solo. In: SILVEIRA, Pedro Marques da; STONE, Luís Fernando. Plantas de Cobertura dos Solos do Cerrado. Santo Antônio: Embrapa Arroz e Feijão, 2010. Cap. 6. p. 113-146.

SILVA, Mozaniel Batista; KLIEMANN, Huberto José; SILVEIRA, Pedro Marques da; LANNA, Anna Cristina. Plantas de cobertura e atividade microbiana do solo. In: SILVEIRA, Pedro Marques da; STONE, Luís Fernando. Plantas de Cobertura dos Solos do Cerrado. Santo Antônio: Embrapa Arroz e Feijão, 2010. Cap. 6. p. 113-146.

SILVA, Rodrigo Ferreira da; CORASSA, Geomar Mateus; BERTOLLO, Gilvan Moisés; SANTI, Antônio Moisés; STEFFEN, Ricardo Bemfica. Fauna edáfica influenciada pelo uso de culturas e consórcios de cobertura do solo. *Revista Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 43, n. 2, p.130-137, 2013.

VALLEJO, V. E.; ROLDAN, F.; DICK, R.P. Soil enzymatic activities and microbial biomass in an integrated agroforestry chronosequence compared to monoculture and a native forest of Colombia. *Biol Fertl Soils*, SpringerVerlag, p. 577-587, 2010.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 04, p. 743-755, 2009.

VICENTE, G. C. M. P.; ARAUJO, F. F. Uso de indicadores microbiológicos e de fertilidade do solo em áreas de pastagens. *Semina*, Londrina, v. 34, n. 1, p.137-146, 2013.

WANG, W.J. et al. Relationships of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content. *Soil Biology & Biochemistry*.p.273-284, 2002.

SILVA, G. D.; BONETTI, J. D. A.; SOUZA, E. D.; PAULINO, H. B., & CARNEIRO, M. A. C. Management systems and soil use on fractions and stocks of organic carbon and nitrogen total in cerrado latosol. 1482-1492, 2016.

AZEVEDO, F. R., AZEVEDO, R., DOS SANTOS, C. A. M., NERE, D. R., & DA SILVA MOURA, E. (2016). Análise faunística e sazonalidade de insetos edáficos em ecossistemas da Área de Proteção Ambiental do Araripe em duas estações do ano, Barbalha-CE. *REVISTA AGRO@ MBIENTE ON-LINE*, 10(3), 263-272.

FILHO, L. C. I. D. O.; FILHO, O. K.; BARETTA, D.; TANAKA, C. A. S., I & SOUSA, J. P. Collembola community structure as a tool to assess land use effects on soil quality. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40, e0150432, 2016.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico Vermelho Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 24, n. 1, p. 35-42, 2000.

FRANCHINI, J.C.; CRISPINO, C.C.; SOUZA, R.A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brasil. *Soil and Tillage Research*, v. 92, n.1-2, p.18-29, 2007.

SOUZA, E. D. D.; COSTA, S. E. V. G. D. A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S. D.; CARVALHO, P. C. D. F., & MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 34, 79-88, 2010.

MENDES, I. C. Indicadores biológicos de qualidade do solo em sistemas de plantio direto no brasil: estado atual e perspectivas futuras. In: MOREIRA, F. M. S.; KASUYA, M. C. M. (Ed.). *Fertilidade e biologia do solo: integração e tecnologia para todos*. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, v. 12, p. 309-334, 2014.