

## Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável

### Soil quality: biological indicators for sustainable management

DOI:10.34117/bjdv7n1-463

Recebimento dos originais: 01/01/2021

Aceitação para publicação: 18/01/2021

#### **Michelangelo de Oliveira Silva**

Doutor em Ciência do Solo

Instituto Federal de Alagoas (IFAL) - Campus Piranhas

Endereço: Av. Sergipe, 1477, 57460-000, Piranhas, AL, Brasil.

E-mail: michelangelo.silva@ifal.edu.br

#### **Magna Pereira dos Santos**

Graduanda em Engenharia Agrônômica

Instituto Federal de Alagoas (IFAL) - Campus Piranhas

Endereço: Av. Sergipe, 1477, 57460-000, Piranhas, AL, Brasil.

E-mail:

#### **Amanda Cibele da Paz Sousa**

Graduanda em Engenharia Agrônômica

Instituto Federal de Alagoas (IFAL) - Campus Piranhas

Endereço: Av. Sergipe, 1477, 57460-000, Piranhas, AL, Brasil.

E-mail:

#### **Ranniele Luíza Ventura da Silva**

Graduanda em Engenharia Agrônômica

Instituto Federal de Alagoas (IFAL) - Campus Piranhas

Endereço: Av. Sergipe, 1477, 57460-000, Piranhas, AL, Brasil.

E-mail:

#### **Ialy Aparecida Angelo de Moura**

Graduanda em Engenharia Agrônômica

Instituto Federal de Alagoas (IFAL) - Campus Piranhas

Endereço: Av. Sergipe, 1477, 57460-000, Piranhas, AL, Brasil.

E-mail:

#### **Raquel Soares da Silva**

Graduanda em Engenharia Agrônômica

Instituto Federal de Alagoas (IFAL) - Campus Piranhas

Endereço: Av. Sergipe, 1477, 57460-000, Piranhas, AL, Brasil.

E-mail:

#### **Kleyton Danilo da Silva Costa**

Doutor em Melhoramento Genético de Plantas

Instituto Federal de Alagoas (IFAL) - Campus Piranhas

Endereço: Av. Sergipe, 1477, 57460-000, Piranhas, AL, Brasil.

E-mail: kleyton.costa@ifal.edu.br

## RESUMO

A qualidade do solo é um indicativo crucial para manutenção de toda biodiversidade do ecossistema. Há relatos na literatura de que, se as atividades biológicas do solo cessassem, a vida no planeta deixaria de existir em poucas décadas. Devido a sua importância e contribuição à biodiversidade global, é necessário preservar sua integridade, pois, é através do solo que extraímos benefícios essenciais à sobrevivência, como o cultivo para alimentação humana e animal, e as obras civis. O solo participa ativamente da formação e manutenção da atmosfera, promove o sequestro de carbono, além de ser morada de inúmeros animais, os quais constituem a biota do solo. No entanto, práticas convencionais e mau uso do solo colaboram para sua escassez, limitando seu uso e suas ações benéficas ao meio. É diante dessa problemática e com base em diversos estudos que o uso consciente do solo, respeitando sua constituição e estrutura, aliado à utilização de bioindicadores, os quais podem monitorar a sua degradação, bem como planejar a implantação de práticas sustentáveis de manejo, apresentam soluções cabíveis para o uso adequado do solo promovendo condição de utilização por outras gerações, pois o mesmo pode ser um recurso findável quando não manejado de forma adequada.

**Palavras-chave:** Microrganismos, Biota do solo, Metabolismo, Ecossistema.

## ABSTRACT

Soil quality is a crucial indicator for maintaining the entire biodiversity of the ecosystem. There are reports in the literature that, if the biological activities of the soil ceased, life on the planet would cease to exist in a few decades. Due to its importance and contribution to global biodiversity, it is necessary to preserve its integrity, because it is through the soil that we extract essential benefits for survival, such as cultivation for human and animal food, and civil works. The soil actively participates in the formation and maintenance of the atmosphere, promotes carbon sequestration, in addition to being home to numerous animals, which constitute the biota of the soil. However, conventional practices and poor land use contribute to their scarcity, limiting their use and beneficial actions to the environment. It is in view of this problem and based on several studies that the conscious use of the soil, respecting its constitution and structure, combined with the use of bioindicators, which can monitor their degradation, as well as plan the implementation of sustainable management practices, present solutions suitable for the proper use of the soil, promoting the condition of use by other generations, as it can be a sustainable resource when not properly managed.

**Key words:** Microorganisms, Soil biota, Metabolism, Ecosystem.

## 1 INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural essencial para o funcionamento dos ecossistemas, nos quais milhares de criaturas diferentes interagem e contribuem para a manutenção da vida na terra, sendo representado por diversos fatores. Nesse entendimento, devido a sua importância e significativa contribuição à biodiversidade global, faz-se necessário preservar sua integridade dentro dos ecossistemas.

A qualidade do solo é um atributo fundamental para o desenvolvimento das espécies que ali habitam, assim como para manutenção sustentável das culturas e

consequentemente para a garantia de alimentos para a população global. O manejo impróprio e intensivo do solo pode provocar gradativamente sua degradação, processo que em alguns casos pode ser irreversível. Naturalmente, ocorrem perdas de solo por ações naturais como o intemperismo, no entanto, as práticas antrópicas, em grande medida, aceleram esses fenômenos, que ocorrem em maiores proporções.

Em vista disso, faz-se necessário o uso sustentável dos solos e seu monitoramento, analisando sua situação atual, assim como sua capacidade de resiliência e a tomada de decisão para sua reestruturação. Esse monitoramento pode ser realizado por meio de indicadores físicos, químicos e biológicos, sendo possível avaliar as condições do solo e promover a manutenção da sustentabilidade produtiva dos ambientes.

Os indicadores biológicos, por sua vez, são constituintes vivos, presentes na parte mais superior do solo. São representados por uma grande diversidade de espécies, as quais desempenham inúmeras e complexas funções no solo. Devido a sua ampla funcionalidade e sensibilidade é possível detectar alterações decorrentes do manejo do solo.

Os principais atributos utilizados para observar e mensurar a dinâmica da matéria orgânica do solo são a biomassa microbiana, a respiração basal, o quociente metabólico, os processos enzimáticos, bem como a macrofauna e os processos que envolvem o ciclo do carbono e do nitrogênio. Assim, é possível identificar organismos que desempenham um papel chave na dinâmica da matéria orgânica no solo, já que as respostas ao seu uso são mais facilmente detectadas.

Diante disso, o objetivo desse estudo foi buscar na literatura dados que demonstrem as características biológicas do solo e suas funcionalidades, uma vez que, sejam usadas como indicativos do seu estado de conservação e degradação.

## **2 QUALIDADE DO SOLO**

A qualidade do solo é uma temática que já vem sendo discutida há muito, principalmente no que diz respeito à sua definição e ao conjunto de atributos que podem mensurá-la, levando em consideração a grande diversidade química, física e especialmente aqueles atributos relacionados à biodiversidade (MELO, 2017). Baretta et al., (2010) definiu a qualidade do solo como a capacidade deste em funcionar dentro do ecossistema, visando a sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e dos animais. Ainda sobre este conceito, Maia (2013) diz que a qualidade do solo é avaliada em detrimento das inúmeras funções que o solo desempenha no crescimento e desenvolvimento das plantas.

Para Lima (2013) e Cherubin (2015), manter o nível desejável de qualidade do solo não é uma tarefa fácil, em vista dos inúmeros fatores que lhe influenciam, tais como: clima, solo, planta, manejo humano e as interações entre esses. A qualidade do solo é mensurada através do uso de indicadores que são atributos biológicos com a capacidade de quantificar o nível de desequilíbrio ao qual um determinado ambiente está sujeito, podendo determinar os efeitos sobre a qualidade do solo e a sustentabilidade das práticas agrícolas (GOMES et al., 2015). Para mensurar a qualidade de um solo, deve-se levar em conta o seu dinamismo, não devendo ser efetuada de forma isolada e direta, e sim, estimada a partir de indicadores (ARAÚJO et al., 2012).

Os organismos que habitam o solo são sensíveis às modificações de qualquer natureza (física, química e biológica) que ocorrem no meio, podendo ser utilizados como indicadores de sua qualidade, por meio dos processos no solo relacionados com o manejo adotado (BARETTA et al., 2008). A biomassa microbiana do solo tem sido utilizada como indicador de alterações e de qualidade de ecossistema capazes de refletir as mudanças de uso do solo (FERNANDES et al., 2013).

O estudo da qualidade do solo integra fatores físicos, químicos e biológicos, os quais definem o potencial de capacidade do solo em manter a sustentabilidade da produção mundial de alimentos (SOBUCKI et al., 2019).

### **3 INDICADORES DE QUALIDADE DE SOLO**

Os indicadores podem representar propriedades físicas, químicas ou biológicas associadas aos diferentes processos que ali ocorrem, tais como: ciclagem de nutrientes, retenção hídrica, potencial de erosão, potencial de lixiviação, atividade biológica, entre outros. Textura, porosidade, densidade e estabilidade de agregados como as propriedades físicas mais usadas como indicadores de solo. A acidez (pH), salinidade, teor de carbono total ou orgânico, fósforo disponível, capacidade de troca iônica, entre outros, são exemplos de atributos (OLIVEIRA-SILVA et al., 2020). Quanto às propriedades biológicas, podem ser citadas as medidas de abundância de diferentes organismos do solo (minhocas, nematoides, térmitas, formigas, actinomicetos, etc.), a biomassa microbiana, atividade enzimática, entre outros (MAIA et al., 2013).

As áreas de vegetação nativa se tornaram áreas com intensas atividades antrópicas, causando mudanças drásticas nos atributos do solo. Nesse sentido, o nível de alteração na qualidade do solo pode ser avaliado pela mensuração do estado atual de determinados

atributos em comparação com o estado natural do solo, sem interferência antrópica, ou com valores considerados ideais (SILVA et al., 2015).

Um bom indicador de qualidade é a propriedade ou função que representa, precisa se relacionar com os processos envolvidos na transformação do solo, decorrente das práticas agrícolas adotadas no sistema estudado. Portanto, a definição e delimitação claras de tais processos são fundamentais para a escolha de indicadores da qualidade do solo. Frequentemente, nesta etapa do estudo, a escolha de indicadores pode tomar tempo considerável no planejamento dos experimentos (MAIA et al., 2013; OLIVEIRA-SILVA et al., 2020).

#### **4 INDICADORES BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO**

Os bioindicadores são propriedades ou processos biológicos dentro do solo que indicam a situação deste ecossistema (CHERUBIN et al., 2015), representam uma abordagem ampla para avaliar e interpretar o impacto das perturbações naturais ou antrópicas no ecossistema solo (HEGER et al., 2012). Por se tratar da parte mais viva e mais ativa da matéria orgânica do solo e por atuar em importantes processos bioquímicos, estudos mostram que os indicadores biológicos são mais sensíveis que os indicadores químicos e físicos para detectar com mais antecedência alterações que ocorrem no solo em função do seu uso e manejo (STÖCKER et al., 2017).

Entre os atributos utilizados para avaliar a dinâmica da matéria orgânica do solo destacam-se propriedades biológicas e bioquímicas, como a respiração basal, a atividade enzimática, o nitrogênio da biomassa microbiana, o carbono da biomassa microbiana e a diversidade microbiana, os quais podem funcionar como indicadores sensíveis, sendo possível sua utilização no monitoramento de prováveis modificações ambientais (MARCHIORI JÚNIOR, et al., 2000; ARAÚJO, et al., 2007; COSTA et al., 2008; ARAÚJO et al., 2012; CARVALHO, et al., 2012; KHEYRODIN, et al., 2012; BALOTA et al., 2014; PAREDES JUNIOR, et al., 2015; FRANZLUEBBERS, 2016; ZANINETTI, et al., 2016).

#### **5 BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO**

A biomassa microbiana do solo é um componente essencial da matéria orgânica que, regula a ciclagem de nutrientes no solo (GOMES et al., 2015). Esse ciclo depende das populações microbianas que podem ser monitoradas através dos atributos microbiológicos, indicadores da variabilidade de concentração de nutrientes e

propriedades do solo, que por sua vez é o suporte para esses organismos vivos (MATSUNAGA et al., 2018).

Segundo Ferreira et al. (2015) esses atributos são indicadores sensíveis às alterações causadas pelos sistemas de manejo utilizados, podendo indicar a qualidade do solo e suas funções relacionadas à sustentação da atividade agrícola e ambiental.

A biomassa microbiana é considerada um excelente indicador da qualidade do solo, é responsável por regular as transformações e acúmulo de nutrientes, sendo uma fração lábil da matéria orgânica do solo, podendo refletir mudanças na matéria orgânica e no desenvolvimento do solo, já que os microrganismos do solo mediam vários processos que afetam o ecossistema e estão associados com a ciclagem de nutrientes, fertilidade do solo, mudanças nos estoques de carbono e na dinâmica da matéria orgânica (HOFFMANN et al., 2018). Funciona como compartimento reserva de carbono, nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) no solo, elementos essenciais para o desenvolvimento vegetal e como catalisador na decomposição da matéria orgânica (SOUZA et al., 2010).

## **6 RESPIRAÇÃO BASAL**

A Respiração Microbiana do solo ou Respiração Basal do Solo (RBS) é um dos parâmetros mais antigos para quantificar a atividade microbiana (ALEF, 1995). Caracteriza-se pela oxidação da matéria orgânica por organismos aeróbios do solo, que utilizam o gás oxigênio ( $O_2$ ) como aceptor final de elétrons, até a obtenção de gás carbônico ( $CO_2$ ), podendo esse ser determinado por titulação, condutividade elétrica (DIONÍSIO et al., 2016).

Diversos métodos podem ser utilizados para quantificar a RBS, baseando-se tanto no consumo de  $O_2$ , quanto na liberação de  $CO_2$ . Para determinar o consumo de  $O_2$ , utiliza-se a cromatografia gasosa ou o eletrorespirômetro, já para a liberação de  $CO_2$ , utiliza-se a titulação (quando este gás é capturado por NaOH ou KOH), condutividade elétrica, cromatografia gasosa, espectroscopia de infravermelho (IRGA) ou por  $^{14}C$ , neste caso, quando se deseja monitorar compostos orgânicos específicos (DIONÍSIO et al., 2016).

Os processos da ação microbiana no solo são de fundamental importância para o funcionamento dos sistemas agroecológicos de produção (ALVES et al., 2019). Nesse sentido, para melhor atuação da comunidade microbiana, é essencial a manutenção da matéria orgânica nos solos (FERREIRA et al. 2018; AQUINO et al., 2017). Os microrganismos presentes no solo degradam o material de origem orgânica, transformando-o em nutrientes disponíveis para as plantas, resultando também em

aumento da RBS (MEDEIROS et al, 2019). Avaliar a comunidade microbiana no solo permite prever danos ao ambiente e subsidiar discussões sobre a continuidade de um manejo, descobrindo pontos fortes e fracos, que podem fortalecer as pesquisas sobre a importância da biodiversidade em sistemas de produção, além de contribuir para a readequação de práticas culturais que visem a homeostase do sistema de produção (RIBEIRO et al., 2016).

Uma alta atividade respiratória pode resultar tanto em uma grande reserva de substratos de C lábeis, na qual a decomposição da matéria orgânica é intensa, como em uma rápida decomposição de uma pequena reserva decorrente, por exemplo, de quebra de agregados do solo promovida pela aração (TÓTOLA; CHAER 2002). Desse modo, altas taxas de respiração podem indicar tanto um distúrbio ecológico (a incorporação de resíduos), como um alto nível de produtividade do ecossistema (ISLAM; WEIL, 2000). As alterações da respiração microbiana podem refletir mudanças na matéria orgânica do solo, na reciclagem de nutrientes, impacto de fatores de solo, impacto de xenobióticos introduzidos ao solo. (CHILDS, 2007).

Nsbimana et al. (2004) utilizaram a respiração basal e a biomassa microbiana para avaliar o efeito de diferentes tipos de usos de solo e relatam que a combinação resulta em boa indicação da qualidade dos solos quando não há muita movimentação de solo ao longo do tempo. Os solos aráveis, embora apresentando menores valores de biomassa microbiana, apresentaram maiores estimativas de respiração basal quando comparados com solos de menor perturbação, sugerindo a presença de poucos grupos funcionais, mas de alta atividade metabólica na comunidade microbiana (CHILDS, 2007). Por outro lado, nos solos de menor perturbação, neste caso solo sob florestas, embora apresentassem maiores conteúdos de carbono orgânico, foram estimadas menores produções de CO<sub>2</sub> (CHILDS, 2007).

## 7 QUOCIENTE METABÓLICO E QUOCIENTE MICROBIANO

A Biomassa Microbiana (BM) “eficiente” (<qCO<sub>2</sub>) tem menor taxa de respiração em relação a uma mesma BM “ineficiente” (>qCO<sub>2</sub>). Dessa forma, tanto fatores de “estresse” (aqueles envolvendo “estado de equilíbrio” ou condições desfavoráveis, como metais pesados, limitações de nutrientes, baixo pH) como fatores de perturbação (aqueles envolvendo fluxo rápido de condições ambientais, ou seja, cultivo, queimada, etc.) induzem à redução da eficiência microbiana (FERREIRA, et al., 2015). Em geral, um baixo quociente metabólico indica economia na utilização de energia e supostamente

reflete um ambiente mais estável ou mais próximo do seu estado de equilíbrio. De modo contrário, valores elevados são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou de distúrbio. Frequentemente, solos com alto quociente metabólico são dominados por organismos colonizadores de crescimento rápido, sendo solos com alta utilização de energia e instável, longe do equilíbrio do ecossistema (DORNELLES, et al., 2017).

O valor de  $qCO_2$ , por sua vez, é importante em estudos que procuram avaliar o efeito das condições ambientais sobre a atividade microbiana do solo, sendo referido como a taxa de respiração específica da biomassa microbiana (FERNANDES et al, 2013). Sendo, o  $qCO_2$  refere-se à quantidade de  $CO_2$  por grama de biomassa em um determinado tempo.

Estudos realizados por Anderson et al., (2010) e reafirmados por Vieira et al., (2016), apontam que a utilização do fogo como método de limpeza do solo proporcionou coeficiente metabólico ( $qCO_2$ ) do solo queimado com valores de quase 7 vezes maior do que no solo não queimado. Essa relação de incremento do  $qCO_2$ , advindo de uma redução da biomassa em detrimento da atividade, pode indicar uma condição estressante aos microrganismos em virtude do fogo na superfície. Nesse contexto, fica evidente que o estresse causado pela temperatura proporcionou maior incremento, uma vez que, ocasionou na eliminação em massa da biomassa microbiana, sendo uma prática de manejo não recomendável quando se trata de manejo do solo a longo prazo.

A relação entre o C microbiano (CM) e o C orgânico (CO) ( $(CM/CO)100$ ), também denominada quociente microbiano ( $qMIC$ ), fornece uma medida da qualidade da matéria orgânica, a relação CM:CO diminui ( $<qMIC$ ). Contrariamente, com a adição de matéria orgânica de boa qualidade ou com a mudança do fator limitante para uma condição favorável, a BM pode aumentar rapidamente ( $>qMIC$ ), mesmo se os teores de CO permanecerem inalterados. Durante o desenvolvimento do solo, essa relação, inicialmente, é submetida a mudanças rápidas e, com o passar do tempo, converge para um valor de “equilíbrio” (BARRETO et al., 2014). Se este valor for conhecido, a determinação dessa relação pode fornecer uma indicação sobre o quanto um solo está distante de seu “estado de equilíbrio”. As mudanças no  $qMIC$  refletem nos acréscimos de matéria orgânica ao solo, a eficiência de conversão do CO do solo para CM, as perdas de C do solo e a estabilização do CO pelas frações minerais do solo (SILVA et al., 2010).

COLODEL et al., (2018) ao avaliarem o  $qMIC$  constataram que os sistemas de lavoura convencional e de pastagem com uso histórico de consórcio e manejo extensivo



apresentaram valores inferiores aos sistemas de vegetação nativa e de áreas com manejo conservacionista. Considerando que valores mais elevados de  $qMIC$  indicam que há um aumento do carbono da biomassa microbiana em relação à quantidade de carbono orgânico disponível, ocasionando uma maior eficiência no seu uso pelos microrganismos. No entanto, os estudos de Stone et al., (2013), ao avaliar diversos atributos do solo e a produtividade do feijoeiro sob diferentes preparos do solo e de plantas de cobertura, afirmam que o valor observado para este quociente, sendo superior a 1% em seu estudo, indica que as condições do solo não foram limitantes à atividade da biomassa microbiana.

## 8 PROCESSOS ENZIMÁTICOS DO SOLO

As enzimas são biomoléculas da classe das proteínas que atuam como catalisadores, sendo elas específicas para cada composto a ser quebrado, existindo, assim, uma variabilidade enorme de enzimas (MANISHA, 2017). No solo, as enzimas são essenciais para a transformação e ciclagem de nutrientes, pois atuam diretamente na quebra e catalisação de compostos de cadeia longa, fornecendo, assim, a base primária para a absorção das plantas (KANDELER, 2015). Ademais, atuam de forma a reduzir a toxicidade das moléculas fenólicas e de íons metálicos e ajudam na defesa antimicrobiana (SINSABAUGH, 2010).

As enzimas possuem forte papel para os ciclos biogeoquímicos, participando da formação da matéria orgânica e estrutura do solo, estando diretamente ligadas à fertilidade e diversidade de organismos no solo. Essas, podem se manterem ativas na ausência de microrganismos (FERREIRA, 2017; OLIVEIRA-SILVA et al., 2020).

Para Utobo et al., (2015), a atividade enzimática é influenciada pela temperatura e pH, podendo ser diminuída quando os valores de pH são muito altos ou muito baixos. Entretanto, a atividade antrópica e os processos naturais do solo podem influenciar em maior ou menor quantidade.

As enzimas do solo podem ser divididas em classes, como, por exemplo, a urease, que é uma enzima da classe da hidrolase que participam ativamente na ciclagem de nutrientes do solo e hidrólise da matéria orgânica do solo. A urease é indicadora da transformação do nitrogênio orgânico em mineral, processo denominado de mineralização (SILVA et al., 2018). A enzima desidrogenase tem sua atividade associada à respiração referente na atividade metabólica, as proteases, quebrando a cadeia proteica em peptídeos menores que sofrerão a ação das peptidases; e a arilsulfatase é responsável pela ciclagem do enxofre no solo (BALOTA et al., 2013).

Das enzimas extracelulares, as fosfatases, tanto a ácida como a alcalina, possuem relação com o ciclo do fósforo (P) por catalisar a hidrólise de ésteres e anidridos de fosfato. A fosfatase ácida (FAC), geralmente, é mais estudada, pois grande parte dos solos utilizados para agricultura nas condições tropicais e subtropicais são ácidos (BALOTA et al., 2013).

A quantificação da atividade enzimática e da respiração microbiana são parâmetros fundamentais para fornecer indicações sobre os níveis de atividade das comunidades de microrganismos do solo (BOWLES et al., 2014). A análise da atividade dos microrganismos de solo através de análises enzimáticas só permite avaliar a atividade potencial e, considerando-se a redundância funcional do ecossistema solo, o resultado pode não ter estreita relação com a biodiversidade microbiana. Se as enzimas do solo são indicadoras de qualidade do solo, não está claro quantas enzimas seriam necessárias para representar uma boa qualidade (OLIVEIRA-SILVA et al., 2020).

## 9 MICROBIOTA DO SOLO

De acordo com Tiemann et al. (2015), a sustentabilidade da comunidade biológica do solo depende da quantidade e da diversidade química dos resíduos. Bohm et al. (2010), os organismos da mesofauna estão diretamente associados com a qualidade do solo. Juntamente com a microbiota, as populações da mesofauna são responsáveis pelos processos de decomposição, mineralização da matéria orgânica e pela regulação dos ciclos de nutrientes. Com a diminuição da abundância de organismos da mesofauna, há comprometimento, a médio e longo prazo, nos processos de decomposição e mineralização da matéria orgânica, afetando a qualidade e a saúde do solo.

Logo, os microrganismos formam complexas teias de interações ecológicas. Essas interações podem ter um impacto positivo (ganho), um impacto negativo (perda) ou nenhum impacto (neutro) sobre as espécies interagentes, as possíveis combinações de ganho, perda e neutralidade para os membros dessa interação permitem a classificação de vários tipos de interação (FAUST; RAES 2012). Esses microrganismos estão ligados à processos de decomposição, ciclagem biogeoquímica, movimentação de material e transferência de nutrientes, interferindo nas características físicas e químicas do solo (MEDEIROS et al., 2018).

## 10 MACROFAUNA DO SOLO COMO BIOINDICADOR

A macrofauna do solo constitui importante componente da biota edáfica, dado o impacto significativo de suas atividades nas funções do ecossistema (KAMAU et al. 2017). Os organismos da macrofauna edáfica apresentam vasta sensibilidade às mudanças ambientais e possuem transformações mais rápidas quando comparados aos indicadores químicos e físicos (MATSUMOTO; MARQUES, 2015).

Estes organismos são de suma importância, uma vez que, trabalham tanto na ciclagem de nutrientes, como na formação de poros, na agregação do solo e controle do meio biológico (MACHADO et al., 2015), conseqüentemente melhorando a infiltração da água e mudança de padrões de retenção (LAVELLE et al., 2013). A interação da macrofauna edáfica com os microrganismos decompositores e as plantas é capaz de modificar funcionalmente e estruturalmente o solo, exercendo uma regulação nos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes (MARX et al. 2016; COYLE et al. 2017; LAIRDHOPKINS et al. 2017; WU, WANG 2019).

Segundo Huber; Morselli (2011), os organismos da macrofauna edáfica contribuem diretamente para a avaliação dos sistemas de produção agrícola, pois determinam quais nutrientes estarão prontamente disponíveis no solo, os meios de recuperação de áreas degradadas, e o uso de práticas agrícolas convencionais.

No estudo realizado por Almeida et al. (2017), o monitoramento da macrofauna do solo provou ser uma excelente estratégia para indicar qualidade ambiental devido à abundância relativa e diversidade de grupos da fauna do solo. Esses organismos promovem um rápido crescimento da vegetação de cobertura, melhorando o aspecto físico, químico e microbiológico do solo (KAMAU et al., 2017).

A identificação da macrofauna edáfica promove a obtenção de conhecimento da fauna presente no solo, da diversidade e densidade de indivíduos em uma determinada área produtora, para melhor otimização da produtividade (REZENDE et al. 2017). Esse monitoramento é necessário, porque a exploração inadequada das áreas tem contribuído para um declínio acentuado na qualidade natural do solo (OLIVEIRA FILHO et al., 2014). Assim, o solo é considerado um grande reservatório da biodiversidade, pois a macrofauna é um importante componente da diversidade biológica (BLOUIN et al., 2013).

Por essas razões, os organismos influenciam significativamente no funcionamento do solo por ações biológicas (estimulação seletiva da microbiota), mecânicas (bioturbação, construção de galerias e produção de agregados organominerais, especialmente as minhocas, cupins e formigas) e químicas (humificação, mineralização e

interação com os microrganismos). Apesar de muitos pesquisadores e homens do campo tratarem como praga, os organismos servem como indicadores de qualidade do solo e do estado de equilíbrio.

Todas estas características fazem com que a macrofauna seja considerada uma boa indicadora da qualidade e da sustentabilidade do uso do solo, pois ela está envolvida em diversas funções e processos do solo.

## 11 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO

O nitrogênio é considerado um dos nutrientes mais críticos para o aumento da produtividade agrícola, sendo a fixação biológica do nitrogênio (FBN) a principal fonte natural nos solos (MARCONDES, et al., 2010). A FBN é uma das funções de maior importância que envolve microrganismos e que acontece por meio da associação de um hospedeiro e de bactérias “rizóbios”.

Segundo Vessey (2003), essa associação é um processo fisiológico relevante, visto como uma porta de entrada ecológica e econômica de nitrogênio no sistema solo-planta, considerada uma associação promissora para a agricultura de baixa utilização de insumo, quando comparada com a adubação mineral.

As avaliações da frequência e diversidade do *Rhizobium* podem ser realizadas através de um simples teste usando vasos com solo, onde diversas leguminosas são plantadas e o número e a massa dos nódulos formados podem ser determinados após um intervalo de tempo. Alternativamente, existem métodos de isolamento da bactéria em meio de cultura específico (TONG e SADOWSKY, 1994) com caracterização morfológica e fisiológica (HUNGRIA et al., 2001), além de métodos moleculares como PCR (TESFAYE e HOLL, 1998) e RAPD (BAYMIEV; CHEMERIS; VAKHITOV, 1999). A combinação de métodos quantitativos e de diversidade permitirá uma análise mais acurada do potencial da simbiose *Rhizobium*-leguminosas no uso para avaliação da qualidade do solo.

A FBN pela simbiose é de fato uma importante fonte de nitrogênio. Em vista disso, práticas que maximizem seu potencial deverão efetivamente aumentar a sustentabilidade da produção agrícola, ao reduzir a demanda por fertilizante nitrogenado (HARDARSON & ATKINS, 2003; FRANKE, 2004; OKITO et al., 2004).

## 12 MINERALIZAÇÃO DO N

O Nitrogênio potencialmente mineralizável é definido como a fração do N orgânico do solo suscetível à mineralização (CARVALHO et al., 2017), podendo ser novamente imobilizado em formas orgânicas. Assim, o N mineralizado é o saldo líquido entre mineralização e a imobilização de N (QUAN et al., 2015; SILVA et al., 2017).

As características edáficas bióticas, como fatores microbiológicos e fauna do solo; e abióticas, como temperatura, umidade, disponibilidade de oxigênio e o clima, são alguns dos fatores que direcionam o fluxo e velocidade de mineralização do N (YAGI et al., 2009; BRODLIN et. al. 2019; ALEIXO et al., 2020).

Variáveis ambientais como temperatura, umidade e precipitação média podem mostrar correlação entre as taxas de mineralização líquida do nitrogênio e processos de desnitrificação (MORSE et al., 2015a; MORSE et al., 2015b; DURÁN et al., 2016). Assim, a umidade e sazonalidade influenciam diretamente a mineralização do carbono e do nitrogênio (RODRIGUES et al., 2017).

Na mineralização do N, as formas orgânicas do nitrogênio são convertidas em amônio ( $\text{NH}_4$ ) e depois em nitrato ( $\text{NO}_3$ ) via nitrificação por bactérias nitrificantes (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; QUAN et al., 2015). O nitrato, por sua vez, pode ser absorvido pelas plantas, lixiviado para fora da zona de absorção das raízes, ou ser convertido em nitrogênio gasoso, sendo perdido para a atmosfera (BOEIRA et al., 2002).

O nitrogênio é um elemento importante na ciclagem da matéria orgânica do solo, é um nutriente de baixa disponibilidade nos solos, sendo um fator limitante nos processos e produtividade biológica (ROS et al., 2011). A influência do N no ciclo do C decorre da disponibilidade de N, o nitrogênio interfere na mineralização e imobilização de C na biomassa microbiana que, por consequência, afeta o tamanho e qualidade dos reservatórios de MOS (KNICKER, 2011).

As populações microbianas variam nas suas preferências e estratégias na aquisição de substratos e nutrientes (GOLDFARB et al., 2011), sendo que alguns microrganismos podem apresentar maior capacidade de aquisição de nutrientes, apresentando vantagens dentro da comunidade microbiana do solo (BANERJEE et al., 2016). Com base na sua capacidade de aquisição de nutriente, os microrganismos do solo podem se organizar em grupos tróficos e nichos funcionalmente distintos (SCHIMEL; SCHAEFFER, 2012), mapeando, a qualidade do solo.

### **13 BIOINDICADORES E PRÁTICAS AGRÍCOLAS PARA O MANEJO SUSTENTÁVEL**

Devido ao uso errôneo do solo, sobretudo pela utilização de sistema convencional, promove-se a degradação dos seus atributos, em especial os biológicos (SÁ et al., 2009). A substituição de áreas antes consideradas nativas para sistemas de uso agrícola, acaba por provocar alterações na matéria orgânica e consequentemente no estoque de carbono do solo (COSTA et al., 2020).

A promoção de práticas isoladas de manejo não aumenta a qualidade do solo, tal ação só ocorre com o uso de manejos integrados (FLIEBBACH et al., 2007), visto que, manter o nível desejável de qualidade do solo, não é uma tarefa fácil, devido aos inúmeros fatores que lhe influenciam, desde do clima ao manejo realizado pelo homem e as interações entre esses (LIMA et al., 2013; CHERUBIN et al., 2015).

Os atributos biológicos do solo são importantes indicadores de alterações causadas por práticas agrícolas, úteis para o monitoramento e também para a orientação do planejamento e da avaliação das práticas de manejo (FERREIRA et al., 2017).

No sistema de plantio direto (SPD) a biomassa e a atividade microbiana do solo são indicadores efetivos e consistentes de mudanças induzidas pelo cultivo e, portanto, devem ser consideradas ao avaliar o impacto do cultivo sobre a qualidade do solo (RAIESI & KABIRI, 2016). Segundo Salomão (2016), o sistema plantio direto proporciona a cobertura do solo na lavoura de forma contínua, através dos restos vegetais de culturas advindas do processo de rotação de culturas, deixando a palhada na parte superior do solo.

O SPD tem como principais finalidades o mínimo revolvimento do solo, cobertura do mesmo com restos vegetais associado com a adubação verde devido à ação de plantas leguminosas e práticas conservacionistas de solo e água, que buscam, em conjunto, a restauração da fertilidade do componente solo. Sendo uma prática de suma importância para o sistema solo-planta, pois proporcionam efeitos benéficos relacionados à ciclagem e disponibilidade de nutrientes, que ocorrem durante o processo de decomposição da palhada, além de melhorar a eficiência dos fertilizantes (VERONESE et al., 2012; ALBUQUERQUE et al., 2013; COSTA et al., 2015).

A matéria orgânica do solo tem sido considerada como indicador chave, isso por que apresenta sensibilidade a modificações resultantes das ações antrópicas, além de apresentar interação com as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (CHERUBIN et al., 2015; COSTA et al., 2020).

## 14 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O solo é um recurso natural renovável, vivo e dinâmico e requer monitoramento e atenção em toda sua constituição, desde a sua estrutura física e química, para assim influenciar na microbiológica. Tem acentuada importância, pois é um hábitat que abriga uma série de organismos, sendo fundamental para a existência de toda a vida no ecossistema. Atrelado a isso, participa ativamente de processos que asseguram as condições de equilíbrio. O uso desenfreado e indiscriminado desse recurso acarreta sérias complicações a toda espécie de vida na terra.

Os estudos sobre bioindicadores apontam a estima dos organismos constituintes da biota do solo, em atenção aos microrganismos, os quais se destacam por apresentarem características relevantes como atividade bioquímica e metabólica, proporcionando, assim, uma comparação relevante a outros tipos de indicadores, possuem respostas mais rápidas às alterações sofridas em seu ecossistema.

As técnicas empregadas no manejo e conservação do solo influenciam diretamente na sua constituição e transformação ao longo do tempo, podendo toda a biota do solo sofrer desequilíbrio, de maneira favorável ou não, por tais ações. É de suma importância a utilização de práticas de manejo do solo que considerem sua complexidade e limitações, tais práticas devem favorecer o seu restabelecimento e promover condições de sua utilização por outras gerações, pois o solo pode ser um recurso findável, quando não manejado de forma adequada.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. W; SANTOS, J. R; FILHO, G. M; REIS, L. S. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Rev. Bras. Eng. Agríc. e Amb.** Campina Grande, v. 17, n. 7, p. 721-726, 2013.
- ALEF, K. Soil respiration. In: ALEF. K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, p. 225-227, 1995.
- ALEIXO, S; GAMA-RODRIGUES, A. C; GAMARODRIGUES, E. F; CAMPELLO, E. F. C; SILVA, E. C; SCHRIPSEMA, J. Can soil phosphorus availability in tropical forest systems be increased by nitrogen-fixing leguminous trees? **Sci. Of the Tot. Env.**, Amsterdam, v. 712, p. 136405, 2020.
- ALMEIDA, H. S; SILVA, R. F; GROLLI, A, L; SCHEID, D.L. Ocorrência e diversidade da fauna edáfica sob diferentes sistemas de uso do solo. **Rev. Bras.Tec.Agrop.** v.1, p.15-23, 2017.
- ALVES, M. A. B; ARAÚJO, F.S; SOUZA, W, S; SILVA, P. C; MAIA, E. P. V; ALMEIDA, A. P. S. Espacialização da Respiração Basal de um Plintossolo sob pastagem/Spatialization of basal respiration of a Plintossol under pasture. **Braz. Jour. of Ani. and Environ. Res.**, v. 2, n. 4, p. 1423-1443, 2019.
- ANDERSON, T. H; DOMSCH, K. H. Soil microbial biomass: The ecophysiological approach. **Soil Biol. and Bioc.** 42, 2039-2043, 2010.
- AQUINO, D.N; ANDRADE, E.M; PALÁCIO, H.A.Q; PEREIRA JÚNIOR, L.R. Nutrient cycling and CO<sub>2</sub> emissions in areas of preserved and thinned caatinga. **Rev.Árv**, 2017.
- 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, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Rev. Bras. Tec. Aplic. Ciên. Agr.**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.
- BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; HAMID, K. I. A.; YADA, I. F. U.; BARBOSA G. M. C.; NAKATANI, A. S. et al. Soil microbial properties after long-term swine slurry application to conventional and no-tillage systems in Brazil. **SciTot. Environ.**, v. 490, p. 397-404, 2014.
- BANERJEE, S.; KIRKBY, C. A.; SCHMUTTER, D.; BISSETT, A.; KIRKEGAARD, J. A.; RICHARDSON, A. E. Network analysis reveals functional redundancy and keystone taxa among bacterial and fungal communities during organic matter decomposition in an arable soil. **Soil Biol. Bioch.**, Elsevier, Amsterdam, v. 97, p. 188-198, 2016.
- BARETTA, D.; BROWN, G.G. & CARDOSO, E.J.B.N. Potencial da macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores de qualidade do solo em áreas com Araucária angustifolia. **Acta Zool. Mex.**, v. 2, p. 135-150, 2010.



BARETTA, D; FERREIRA, C. S; SOUSA, J. P; CARDOSO, E. J. B. N. Colêmbolos (Hexapoda: Collembola) como bioindicadores de qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. **Rev. Bras. Ciên. Solo.**, v. 32, p. 2693-2699, 2008.

BARRETO, P.A.B; GAMA-RODRIGUES, E.F; GAMA-RODRIGUES, A.C. Carbono das frações da matéria orgânica em solos sob plantações de eucalipto de diferentes idades. **Sci. Flor.**, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 581-590, 2014.

BAYMIEV, A. K.; CHEMERIS, A. V.; VAKHITOV, V. A. Informative value of some modern methods for DNA polymorphism identification in microorganisms as exemplified by symbiotic root-nodule bacteria *Rhizobium galegae*. **Rus. Jour. of Gen.**, Moscou, v. 35, p. 1387-1393, 1999.

BLOUIN, M; HODSON, M.E; DELGADO, E.A; BAKER, G; BRUSSAARD, L; BUTT, K.R; DAI, J; DENDOOVEN, L; PERES, G; TONDOH, J.E; CLUZEAU, D; BRUN, J.J. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. **Eur. Jour. Of Soil Sc.**, v.64, p.161-182, 2013.

BOEIRA, R. C; LIGO, M. A. V; DYNIA, J. F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. **Pesq. Agro. Bras.**, v. 37, n. 11, p. 1639-1647, 2002.

BOWLES, T. M; ACOSTA-MARTÍNEZ, V; CALDERÓN, F; JACKSON, L. E. Soil enzyme activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability inorganic agroecosystems across an intensively- managed agricultural landscape. **Soil Biol. And Bioc.**, v.68, p.252-262, 2014.

BOHM, G. M. B.; CASTILHOS, D. D.; ROMBALDI, C. V. Manejo de soja transgênica com glifosato e imazetapir: efeito sobre a mesofauna e microbiota do solo. **Rev.Thema**, v. 7, n. 2, p. 1-12, 2010.

BRODLIN, D; KAISER, K; HAGEDORN, F. Divergent Patterns of carbon, nitrogen, and phosphorus mobilization in forest soils. **Front. and For. And Glob. Chan.**, v. 31, n. 2, p. 66, 2019.

CARVALHO, F; MOREIRA, F. M. S; CARDOSO, E. J. B. Chemical and biochemical properties of *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze. forest soils in the state of São Paulo. **Rev. Bras. Ciên. Solo**, Lavras, v. 36, n. 4, p. 1189-1202, 2012.

CARVALHO, D. C; PEREIRA, M. G; GUARESCHI, R. F; SIMON, C. A; TOLEDO, L. O; PICCOLO, M. C. Carbono, Nitrogênio e Abundância Natural de  $\delta^{13}C$  do Solo em Coberturas Florestais. **Flor. Amb.**, Seropédica, v. 24, 2017.

CHERUBIN, M. R; EITELWEIN, M. T; FABBRIS, C; WEIRICH, S. W; SILVA, R. F; SILVA, V. R; BASSO, C. J. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Rev. Bras. de Ciên. do Solo**, v. 39, p. 615-625, 2015.

CHILDS, GriselMariom Fernandez. Efeitos de herbicidas na microbiota do solo em sistema fechado. 2007.

COLODEL, J. R; PIERANGELI, M. A. P; SOUZA, M. F. P; CARVALHO, M. A. C; DALCHIAVON, F. C. Atributos físicos e biológicos de Argissolo Vermelho-Amarelo

Amazônico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Rev. de Ciên. Agr.**, v. 41, n. 2, p. 287-297, 2018.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; ULIAN, N. A.; COSTA, B. S.; PARIZ, C. M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Acúmulo de nutrientes e tempo de decomposição da palhada de espécies forrageiras em função de épocas de semeadura. **Bios.Jour.** Uberlândia, v. 31, n. 3, p. 818-829, 2015.

COSTA, A. A.; MACHADO, E. B. N.; LUDUVICO, G. A.; MACEDO, I. L. M. Atributos físicos e estoque de carbono em áreas sob diferentes formas de uso do solo no Cerrado do Oeste da Bahia. **Braz. Jour. Of Devel.**, v. 6, n. 5, p. 32294- 32306, 2020.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Rev. Bras. de Ciên. do Solo**, v. 32, p. 323-332, 2008.

COYLE, D. R.; NAGENDRA, U. J.; TAYLOR, M. K.; CAMPBELL, J. H.; CUNARD, C. E.; JOSLIN, A. H.; MUNDEPI, A.; PHILLIPS, C. A.; CALLAHAM JR, M. A. Soil fauna responses to natural disturbances, invasivespecies, and global climatechange: Currentstateofthescienceand a calltoaction. **Soil Biol.andBioc.**, 110(1), 116-133, 2017.

DORNELLES, H. de S.; MATSUOKA, M.; BINELO, L. A.; PAUVELS, L. A.; CARON, C. M.; SILVA, V. R. Biomassa e Atividade Microbiana de Solos com aplicação de resíduo sólido urbano e dejetos líquidos de suínos: biomassand microbial activityofsoilswithapplicationofurbansolidwasteandliquidswinemanure. **RBCIAMB**, São Carlos - SP, v. 44, n. 18, p. 18-26, 17 mar. 2017.

DURÁN, J. H.; MORSE, J. L.; GROFFMAN, P. M.; CAMPBELL, J. L.; CHRISTENSON, L. M.; DRISCOLL, C. T.; FAHEY, T. J.; FISK, M. C.; LIKENS, G. E.; MELILLO, J. M.; MITCHELL, M. J.; TEMPLER, P. H.; VADEBONCOEUR, M. Climate change decreases nitrogen pools and mineralization rates in northern hardwood forests. **Ecos.**, v. 7, n. 3, p. 1-13, 2016.

FAUST, K.; RAES, J. Microbial interactions: from networks to models. **Nat. Rev.: Mic.**, v. 10, n. 8, p. 538-550, 2012.

FERNANDES, M. M.; SILVA, M. D.; VELOSO, M. E. C.; OLIVEIRA, T. M.; FERNANDES, M. R. M. & SAMPAIO, F. M. T. Biomassa microbiana e matéria orgânica em áreas desertificadas revegetadas com pinhão-mansão solteiro e consorciado com gramínea no Sui do Piauí. **Rev. Bras. de Ciênc. Agrar.**, v. 8, p. 464-469, 2013.

FERREIRA, C. R. P. C.; ANTONINO, A. C. D.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CORREIA, K. G.; LIMA, J. R. S.; SOARES, W.A.; MENEZES, R.S. C. Soil CO<sub>2</sub> Efflux Measurements by Alkali Absorption and Infrared Gas Analyzer in the Brazilian Semiarid Region. **Rev. Bras. de Ciên. do Solo**; v. 42, 2018.

FERREIRA, E. A.; FIALHO, C. M. T.; BIBIANO, C. S.; BRAGA, R. R.; PEREIRA, G. A. M.; SILVA, D. V.; SANTOS, J. B. Atividade microbiana de solos cultivados com mandioca em sistema de policultivo, **Rev. Mag.**, Cruz das Almas – BA, n. 27, n.3/4, p. 406-411, 2015.

FERREIRA, E. P. B; STONE, L. F; MARTIN-DIDONET, C. C. G. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Rev. Ciênc. Agron.**, v.48, p.22-31, 2017.

FLIEBBACH, A; OBERHOLZER, H-R; GUNST, L. & MÄDER, P. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. **Agri., Eco.& Env.**, v. 118, p. 273-284, 2007.

FRANKE, A. C. Incorporating short-season legumes and green manure crops into maize-based systems in the moist Guinea savanna of West Africa. **Exp.-Agric.**, v. 40, p. 463-479, 2004.

FRANZLUEBBERS, A. J. Should soil testing services measure soil biological activity? **Agric. & Environ. Lett.**, Madison, v. 1, n. 1, 2016.

GOLDFARB, K. C.; KARAOZ, U.; HANSON, C. A.; SANTEE, C. A.; BRADFORD, M. A.; TRESEDER, K. K.; WALLENSTEIN, M. D.; BRODIE, E. L. Differential growth responses of soil bacterial taxa to carbon substrates of varying chemical recalcitrance. **Front. in Microb.**, v. 2, 2011.

GOMES, S. S; GOMES, M. S; GALLO, A. S; MERCANTE, F. M; BATISTOTE, M; SILVA, R. F. Bioindicadores de qualidade do solo cultivado com milho em sucessão a adubos verdes sob bases agroecológicas. **Rev. Fac. Agron. La Plata**, v. 114, p. 30-37, 2015.

HARDARSON, G. & ATKINS, C. Optimising biological N<sub>2</sub> fixation by legumes in farming systems. *Plant and Soil*, v. 252, p. 41-54, 2003.

HEGER, T. J; IMFELD, G; MITCHELL, E. A. D. Special issue on “Bioindication in soil ecosystems”: Editorial note. **Eur. Jour. of Soil Biol.**, Paris, v. 49, p. 1–4, 2012.

HOFFMANN, R. B.; MOREIRA, E. E. A.; HOFFMANN, G. S. S.; ARAÚJO, N. S. F. Efeito do manejo do solo no carbono da biomassa microbiana. **Braz. J. Anim. Env. Res.**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 168-178, jul./set. 2018.

ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agric. Ecosys. Environ.*, 79:9-16, 2000.

KAMAU, S. Soil macrofauna abundance under dominant tree species increases along a soil degradation gradient. **Soil Biol. and Bioc.**, v.112, p.35-46, 2017.

KANDELER, E. Physiological and Biochemical Methods for Studying Soil Biota and Their Functions. In: PAUL, E. (Ed.). **Soil Mic., Ecol. and Bioc.** New York: Academic Press, 2015. p. 187-222.

KHEYRODIN, H; GHAZVINIAN, K; TAHERIAN, M. Tillage and manure effect on soil microbial biomass and respiration, and on enzyme activities. **Afric. Jour. of Biotec.**, [s. l.], v. 11, n. 81, p. 14652-14659, 2012.

KNICKER, H. Soil organic N – An under-rated player for C sequestration in soils? **Soil Biol. Bioch.**, Elsevier, Amsterdam, v. 43, n. 6, p. 1118-1129, 2011.

LAVELLE, P; RODRÍGUEZ, N; ARGUELLO, O; BERNAL, J; BOTERO, C; CHAPARRO, P; GÓMEZ, Y; GUTIÉRREZ, A; HURTADO, M. del P; LOAIZA, S; PULLIDO, S.X; RODRÍGUEZ, E.; SANABRIA, C; VELÁSQUEZ, E; FONTE, S.J. Soil ecosystem services and land use in the rapidly changing Orinoco River Basin of Colombia. **Agric., Ecosys. & Env.**, v.185, p.106-117, 2014.

LAIRD-HOPKINS, B. C., BRÉCHET, L. M., TRUJILLO, B. C., & SAYER, E. J. Tree functional diversity affects litter decomposition and arthropod community composition in a tropical forest. **Biotropica**, 49(6), 903-911, 2017.

LIMA, A. C. R; BRUSSAARD, L; TOTOLA, M. R; HOOGMOEDD, W. B; GOEDE, R. G. M. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. **Appl. Soil Ecol.**, v. 64, p. 194–200, 2013.

MACHADO, D; PEREIRA, M. G; CORREIA, M. E. F; DINIZ, A. R; MENEZES, C. E. G. Fauna edáfica na dinâmica sucessional da mata atlântica em floresta estacional semidecidual na bacia do rio Paraíba do Sul-RJ. **Ciênc. Flor.**, v. 25, n. 1, p. 91-106, 2015.

MAIA, C. E. Qualidade ambiental em solo com diferentes ciclos de cultivo do meloeiro irrigado. **Ciênc. Rur.**, v. 43, p. 603-609, 2013.

MANISHA, S. K. Y. Technological advances and applications of hydrolytic enzymes for valorization of lignocellulosic biomass. **Bior. Tech.**, v. 245, Parte B. dec., p. 1727-1739, 2017.

MARCHIORI JÚNIOR, M; MELO, W.J. de. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesq. Agrop. Bras.**, v.35, p.1177-82, 2000.

MARCONDES, J.; FERRAUDO, A. S.; SCAQUITTO, D. C.; ALVES, L. M. C.; LEMOS, E. G. M. Efetividade na fixação biológica do nitrogênio de bactérias nativas isoladas de plantas de amendoim. **Ciênc. & Tec.: FATEC-JB**, Jaboticabal (SP), v. 1, n. 1, p. 21-32, 2010.

MARX, M. T.; YAN, X.; WANG, X.; SONG, L.; WANG, K.; ZHANG, B.; WU, D. Soil fauna abundance, feeding and decomposition in different reclaimed and natural sites in the Sanjiang Plain Wetland, Northeast China. **Wetlands**, 36(3), 445-455, 2016.

MATSUNAGA, W. K; RODRIGUES, H. J. B; RODRIGUES, P. G. Atributos Microbiológicos de Solo, relacionados às Atividades da Microfauna em Solo na Floresta Amazônica. **Anuá. Inst. Geo. – UFRJ**, v. 41, n. 3 p. 630-638, 2018.

MATSUMOTO, L. S; MARQUES, R. D. **Bioindicadores de qualidade do solo**, Cascavel – Paraná, p. 486-490, 2015.

MEDEIROS, E. J. T; CAVALCANTE, F. G; SILVA, M. A; SILVEIRA, S. C; MARTINS, C. M. Diversidade cultura de Cepas de actinobactérias do semiárido. **Enci. Bio.**, v.15 n.27. 2018.

MELO, V.F; SILVA, D.T; EVALD, A; ROCHA, P.R.R. Chemical and biological quality of the soil in different systems of use in the savanna environment. **Rev. Agro@. on-line**, v.11, n. 2, p. 101-110, 2017.

MOREIRA, F. M. S; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 6 ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras. 729 p, 2006.

MORSELLI, T.B.G.A. **Minhocultura**. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária PREC-UFPel. 116p, 2009.

MORSE, J. L; DURÁN, J. H; GROFFMAN, P. M. Soil Denitrification Fluxes in a Northern Hardwood Forest: The Importance of Snowmelt and Implications for Ecosystem N Budgets. **Ecos.**, New York, v. 18, p. 565 520-532, 2015a.

MORSE, J. L; DURÁN, J. H; BEALL, F; ENANGA, E. M; CREED, I. F; FERNANDEZ, I; GROFFMAN, P. M. Soil denitrification fluxes from three northeastern North American forests across a range of nitrogen deposition. **Oec.**, v. 177, p. 17-27, 2015b.  
NSABIMANA, D.; HAYNES, R.J.; WALLIS, F. M. Tamanho, atividade e diversidade catabólica da biomassa microbiana do solo afetada pelo uso da terra. **Ecologia do Solo Aplicada**, c. 26, 2, 81-92, 2004.

OLIVEIRA FILHO, L. C. I; BRRETTA, D; SANTOS, J. C. P. Influência dos processos de recuperação do solo após mineração de carvão sobre a mesofauna edáfica em Lauro Müller, Santa Catarina, Brasil. **Rev.Biot.**, v.27, p.69-77, 2014.

OLIVEIRA-SILVA, M.; VELOSO, C.L.; NASCIMENTO, D.L.; OLIVEIRA, J.; PEREIRA, D.F.; COSTA, K.D.S. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. *Braz. J. of Develop.*, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, jul. 2020. DOI:10.34117/bjdv6n7-431

OKITO, A., ALVES, B. J. R., URQUIAGA, S., BODDEY, R. M. Nitrogen fixation by groundnut and velvet bean and residual benefit to a subsequent maize crop. **Pesquisa Agrop. Bras.**, v. 39, p. 1183-1190, 2004.

PAREDES JUNIOR, F. P. P; PORTILHO, I. I. R; MERCANTE, F. M. Microbiological attributes of the soil under cultivation of sugarcane with and without burning straw. *Semina: Ciên. Agrár.*, Londrina, v. 36, n. 1, p. 151-164, jan. 2015.

QUAN, Q; WANG, C; HE, N; ZHANG, Z; WEN, X; SU, H; WANG, Q; XUE, J. Forest type affects the coupled Relationships of soil C and N mineralization in the temperate forests of northern China. **Nat. Sci. Rep.**, v. 4, n. 6584, 2015.

RIBEIRO, K. K; SOUSA-NETO, E. R; CARVALHO JUNIOR, J. A; LIMA, J. R. S; MENEZES, R. S. C; DUARTE-NETO, P. J; GUERRA, G. S; OMETTO, B. J. P. H. Land cover changes and greenhouse gas emissions in two different soil covers in the Brazilian Caatinga. **Scie. oftheTot. Env.**, 2016.

REZENDE, L. P.; PORTELA, G. F.; MACEDO, N. C.; DINIZ, K. D. Identificação da macrofauna do solo em pastagem de *Panicum maximum* Jacq. e área submetida à queimada no município de Sambaíba-MA. **Biodiversidade**, 16(1), 155 – 166, 2017.

RODRIGUES, E. F. G; GUERRA, J. G. M; ALMEIDA, D. L; DE-POLLI, H. Biomassa microbiana de carbono de solos de Itaguaí-RJ; comparação entre os métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Rev. Bras. Ciên. Solo**, Campinas, v. 18, p. 427-432, 1995.

RODRIGUES, R. A. R; DE MELLO, W. Z; DA CONCEIÇÃO, M. C. G; DE SOUZA, P. A; SILVA, J. J. N. Dinâmica do Nitrogênio em Sistemas Agrícolas e Florestais Tropicais e seu Impacto na Mudança do Clima. **Rev. Virt. Quím.**, v. 9, n. 5. p. 1868-1886, 2017.

SÁ, J. C. M; CERRI, C. C; LAL, R; DICK, W. A; PICCOLO, M. C. P; FEIGL, B. E. Soil organic carbon and fertility interactions affected by a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil&TillageResearch**, v. 104, p. 56-64, 2009.

SALOMÃO, P. E. A; KRIEBEL, W; SANTOS, A. A; MARTINS, A. C. E. M. A importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da matéria orgânica. **Rev., Soci.and Dev.**, v. 9, n.1, e154911870, 2020.

SCHIMEL, J.; SCHAEFFER, S. M. Microbial control over carbon cycling in soil. **Front. Microbiol.**, v. 3, p. 348, 2012.

SILVA, A. E. O; INÁCIO, E. S. B; SALCEDO, I. H; AMORIM, L. B. Soil enzymatic activities in areas with stages and management of forest regeneration from Caatinga. **Rev. Caat.**, Mossoró, v. 31, n. 2, p. 405-414, 2018.

SILVA, R. J; BRANCALION, P. H. S; RODRIGUES, R. R. Forest management impacts on the nitrogen cycling: implications for the rainforests conservation. **Jour. Of Basic Educ., Tec. AndTech.**, v. 1, n.1, p. 240-249, 2017.

SILVA, G. F; SANTOS, D; SILVA, A. P; SOUZA J. M. et al. Indicadores de Qualidade do Solo sob diferentes sistemas de uso na Mesorregião do Agreste Paraibano. **Rev. Caat.**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 25 – 35, jul. – set., 2015.

SILVA, R. R. D; SILVA, M. L. N; CARDOSO, E. L; MOREIRA, F. M. D. S; CURI, N; ALIVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes - MG. **Rev. Bras. Ciên. Solo**, Viçosa – MG, v. 34, p. 1585-1592, 2010.

SINSABAUGH, R. L. Phenol oxidase, peroxidase and organic matter dynamics of soil. **Soil Biol. andBioc.**, v. 42, n. 3, p. 391-404, 2010.

SOBUCKI, L; RAMOS, R. F; BELLÉ, C; ANTONIOLLI, Z. I. Manejo e qualidade biológica do solo: uma análise. **Rev. Agron. Bras.**, v. 3, n.4, 2019.

SOUZA, E. D; COSTA, S. E. V. G. A; ANGHINONI, I; CARVALHO, P. C. F; ANDRIGUETI, M; CAIO, E. Estoque de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Bras. Ciên. Solo**, v.33, p.1829-1836, 2010.

STONE, L. F; FERREIRA, E. P. B; DIDONET, A. D; HEINEMANN, A. B; OLIVEIRA, J. P. Correlação entre a produtividade do feijoeiro no sistema de produção orgânica e atributos do solo. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, v.17, n.1, p.19–25, 2013.

STÖCKER, C.M; MONTEIRO, A.B; BAMBERG, A.L; CARDOSO, J.H; MORSELLI, T.B.G.A; LIMA, A.C. R. **Bioindicadores da qualidade do solo em sistemas agroflorestais**. 14ª Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa, 2017.

TIEMANN, L.K; GRANDY, A.S; ATKINSON, E.E; MARINSPIOTTA, E; MCDANIEL, M.D. Crop rotational diversity enhances belowground communities and functions in an agroecosystem. **Ecol. Lett.**, v.18, p.761-771, 2015.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Tópicos em ciência do solo**, v. 2, n. 3, p. 195-276, 2002.

TONG, Z.; SADOWSKY, M. J. A selective medium for the isolation and quantification of Bradyrhizobium japonicum and Bradyrhizobiummelkanii strains for soil and inoculants. **Appl. and Env. Micr.**, Washington, v. 60, p. 581-586, 1994.

UTOBO, E. B; TEWARI, L. Soil Enzymes as Bioindicators of Soil Ecosystem Status. **Appl. Ecol. and Env. Res.**, v. 13, n.1, p.147-169, 2015.

VERONESE, M; FRANCISCO, E. A. B; ZANCANARO, L; ROSOLEM, C. A. Plantas de cobertura e ciclagem na implantação do sistema plantio direto. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.47, n.8, p.1158-1165, ago., 2012.

VESSEY, J.K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. **Plant Soil**, n. 255, p. 571-586, 2003.

VIEIRA, A. C; MELLONI, R; MELLONI, E. G. P; GUIMARÃES, M. C; FREITAS, M. S; PECORARO, D. Fogo e seus efeitos na qualidade do solo de pastagem. **Rev. Bras. Geo.Fís.** v.09, n.06 1703-1711, 2016.

WU, P.; WANG, C. Differences in spatiotemporal dynamics between soil macrofauna and mesofauna communities in forest ecosystems: The significance for soil fauna diversity monitoring. **Geoderma**, 337(1), 266-272, 2019.

YAGI, R; FERREIRA, M. E; PESSÔA, M. C; BARBOSA, J. C. Renato. mineralização potencial e líquida de nitrogênio em solos. **Rev. Bras. Ciên. Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 385-394, 2009.

ZANINETTI, R; MOREIRA, A; MORAES, L. A. C. Physical, chemical, and biological attributes of a Xanthic Oxisol after forest conversion to rubber tree plantation in the Amazon. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1061-1068, set. 2016.