

Sistema edáfico: principais indicadores químicos, físicos e biológicos

O entendimento sobre qualidade do solo é de extrema importância diante dos impactos provocados pelos sistemas produtivos, principalmente em ambientes tropicais, nos quais o clima tem influência direta no funcionamento do sistema edáfico. Diante disso, o objetivo do presente estudo foi apresentar alguns indicadores de qualidade químicos, físicos e biológicos em sistemas produtivos. O artigo traz alguns dos principais métodos de avaliação de qualidade física, química e biológica do solo, além de indicar a sensibilidade dos indicadores em responder às modificações provocadas pela conversão de áreas naturais em sistemas de manejo agrícola. O artigo destaca uma abordagem sobre a fauna do solo e sua importância para o funcionamento do sistema edáfico, mostrando-se como parâmetro sensível em evidenciar a modificação no uso do solo.

Palavras-chave: Avaliação ambiental; Estoque de carbono; Fauna edáfica; Qualidade do solo.

Edaphic system: main physical, chemical and biological indicators

The understanding of soil quality is extremely important and assumes the impacts caused by productive systems, especially in tropical environments, in which the climate has a direct influence on the functioning of the edaphic system. Therefore, the objective of the present study was to present some indicators of chemical, physical and biological quality in productive systems. The article presents some of the main methods for assessing the physical, chemical and biological quality of the soil, in addition to indicating the sensitivity of the indicators in response to changes caused by the conversion of natural areas into agricultural management systems. The article highlights an approach on soil fauna and its importance for the functioning of the edaphic system, showing itself as a sensitive parameter in showing the change in land use.

Keywords: Environmental assessment; Carbon stock; Edaphic fauna; Soil quality.

Topic: Ciências do Solo

Received: 02/12/2020

Approved: 22/12/2020

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Jefferson Matheus Barros Ozório 
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4562421968469006>
<http://orcid.org/0000-0002-7836-7668>
ozorio.jmb@outlook.com

Naelmo de Souza Oliveira 
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8993834368969627>
<http://orcid.org/0000-0002-4062-880X>
naelmo-95@hotmail.com

Camila Beatriz da Silva Souza 
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7836151524551588>
<http://orcid.org/0000-0002-7186-1014>
camilabeatrizss@hotmail.com

Paulo Guilherme da Silva Farias 
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5627503318732435>
<http://orcid.org/0000-0003-4708-2122>
pauloguilhermesf@hotmail.com

Roniedison da Silva Menezes 
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0419077354773649>
<http://orcid.org/0000-0003-3778-1878>
roniedison1@hotmail.com

Jean Sérgio Rosset 
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0419077354773649>
<http://orcid.org/0000-0003-2214-2694>
rosset@uems.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0003

Referencing this:

OZÓRIO, J. M. B.; OLIVEIRA, N. S.; SOUZA, C. B. S.; FARIAS, P. G. S.; MENEZES, R. S.; ROSSET, J. S.. Sistema edáfico: principais indicadores químicos, físicos e biológicos. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.7, p.24-36, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0003>

INTRODUÇÃO

Os estudos científicos de ambientes naturais crescem a cada ano, visto os impactos causados pelo aumento populacional, a necessidade de produzir alimentos, fibras e energia, bem como o descarte de forma inadequada de dejetos no ambiente, com impacto direto a sobrevivência humana (PRIP, 2018; MACE et al., 2018; ISBELL et al., 2018). Muitos desses estudos procuram identificar fontes de distúrbio e modificações no ambiente, principalmente no solo e na água, para conter ou traçar mecanismos de mitigação desses impactos e seus efeitos (BARRIOS et al., 2018; ARAÚJO et al., 2009).

Ao longo da história, o conceito de biodiversidade ganhou maior notoriedade com a extinção de muitas espécies. Mayes et al. (2000), fizeram um mapeamento de áreas que apresentam grande diversidade biológica e de relevância no mundo, que apresentam grande quantidade de espécies endêmicas, e que estão sob constante ameaça. Dentre essas áreas duas correspondem aos biomas Mata Atlântica e Cerrado, que tem grandes áreas sob domínio brasileiro.

Dentro desses biomas, considerados de extrema importância, houve grande exploração de área naturais ao longo do tempo, principalmente para construção de cidades e também com atividades agropecuárias (DALMOLIN et al., 2012). A Mata Atlântica foi um dos biomas que mais sofreu com a exploração, principalmente pela ocupação das cidades, chegando a ter suas áreas reduzidas a 10% do seu total (RIBEIRO et al., 2009). Já o Cerrado, teve muitas de suas áreas naturais exploradas principalmente pela agropecuária extensiva, devido a vários fatores como a topografia favorável a mecanização e os solos profundos como facilitadores do processo de cultivo (GUARESCHI et al., 2016; SANO et al., 2010).

Os efeitos da fragmentação florestal permitem ainda que a matriz da paisagem seja composta por áreas agrícolas e outras formas de uso, que provocam no solo alterações no fluxo de radiação, água e nutrientes (SAUNDERS et al., 1991). Assim, o processo de monitoramento da qualidade do ambiente edáfico via avaliação de indicadores sensíveis de qualidade se faz necessário, principalmente onde ainda existe expansão agropecuária ou qualquer outra forma de alteração da paisagem (FALCÃO et al., 2020; OZÓRIO et al., 2019).

A qualidade do solo (QS) se baseia na capacidade do mesmo em sustentar os serviços ecossistêmicos, mantendo um equilíbrio entre a qualidade química, física e biológica, apresentando uma forte relação com o manejo adotado (DORAN et al., 1994; ASSUNÇÃO et al., 2019; FERREIRA et al., 2020). Os estudos sobre a QS foram aprimorados por diversos autores, que desenvolveram vários métodos e índices de qualidade, que permitem ser aplicados de forma distinta para diferentes tipos de solo, regiões e formas de manejo. Os indicadores de QS aplicados devem ser sensíveis ao manejo e uso do ambiente edáfico, sendo eficientes e precisos em identificar alterações nos atributos do solo também em curto período de avaliação (AZIZ et al., 2013; LAL, 2018; MARQUES et al., 2015; MAGALHÃES et al., 2016).

Diante disso o presente estudo tem como objetivo apresentar os principais indicadores químicos, físicos e biológicos de qualidade do solo, em uma abordagem simplificada dos indicadores utilizados por diversos pesquisadores.

METODOLOGIA

Indicadores químicos de qualidade do solo

Os atributos químicos do solo são importantes indicadores de qualidade, uma vez que os mesmos sofrem influência dos sistemas de manejo adotados (CARNEIRO et al., 2009). Uns dos principais atributos químicos de avaliação são os nutrientes do solo, pois o desequilíbrio na disponibilidade de nutrientes dificulta o desenvolvimento de culturas, degradando quimicamente o solo e contribuindo para a degradação e processos iniciais de desertificação (LI et al., 2018). Outro importante ponto de estudo nos indicadores de qualidade do solo, são o pH, acidez pontencial ($H+Al$) e o alumínio trocável (Al^{+3}), que prejudicam o desenvolvimento das culturas e podem favorecer para degradação do solo (ROSSET et al., 2014).

Estes atributos apesar de serem extremamente importantes e indispensáveis para uma produção sustentável, podem ser corrigidos com fertilização, diferentemente de degradação física que exigem maior demanda técnica e de custo para recuperação. Práticas como a calagem contribuem para o aumento de pH, dos teores de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) e na diminuição do teor de Al^{3+} que é tóxico para o desenvolvimento das culturas (KATHOUNIAN, 2001).

As bases Ca^{2+} , Mg^{2+} e potássio (K^{+}), a saturação de bases (V%), além do fósforo (P), também são indicadores que influenciam na produção agrícola ou florestal, sendo estes elementos essenciais para o desenvolvimento das culturas, além de serem facilmente determinados em laboratório. Estes elementos são de fácil reposição dentro dos sistemas manejados, sendo suas deficiências supridas através de fertilizantes químicos ou de origem orgânica. A reposição destes elementos, assim como dos demais nutrientes essenciais, são fundamentais para equilibrar o sistema agrícola, proporcionando uma produtividade mais efetiva (DALCHIAVON et al., 2012).

Dentre os indicadores químicos, o de maior notoriedade é a análise dos teores de carbono orgânico total (COT), com posteriores cálculos de seu estoque, sendo possível estimar também os teores de matéria orgânica no solo (MOS) (KOVEN et al., 2017; OZÓRIO et al., 2019; FALCÃO et al., 2020). Compreende-se por MOS os resíduos em diferentes estágios de decomposição (assim como a porção ainda viva de origem vegetal, animal ou de microrganismos), compostos humificados e materiais carbonizados, apresentando associação ou não a fração mineral, sendo que estes compostos formam um componente complexo e heterogêneo, diferindo em composição, diversidade estrutural, grau de disponibilidade para a microbiota e função ambiental, além de apresentar interações com a matriz mineral do solo (PEREIRA et al., 2013).

É válido ressaltar que a MOS pode ser alterada em maior ou menor grau, e é um dos atributos mais sensíveis ao manejo dos solos, sendo considerada um ótimo indicador de QS (ROSSET et al., 2016; FELICIANO et al., 2018; ROSSET et al., 2019). A conversão de áreas naturais em áreas de cultivo, com derrubada e queima da vegetação natural, tem como consequência a redução dos teores de carbono (C) do solo por conta da alteração na quantidade de material vegetal depositado. Como esta variável apresenta estreita relação com os demais indicadores, tanto químicos e físicos, como os biológicos, as perdas em seu conteúdo podem resultar no aumento dos processos erosivos e na diminuição da fertilidade do solo ao longo dos anos de

cultivo se não forem adotados sistemas de manejo conservacionistas, além de ser fonte de emissões de gases de efeito estufa, uma das principais preocupações na atualidade (PEREIRA et al., 2013; KOVEN et al., 2017; ASSUNÇÃO et al., 2019; FERREIRA et al., 2020; SILVA et al., 2020).

Os sistemas de manejo como o sistema plantio direto (SPD) e os sistemas integrados de produção, apresentam certas práticas que promovem alteração significativa na dinâmica de armazenamento da MOS. Esta capacidade de armazenar C pelos sistemas agrícolas é amplamente estudada, tanto com a quantidade quanto com a qualidade da matéria orgânica do solo (ASSUNÇÃO et al., 2019; KOVEN et al., 2017; LOSS et al., 2015; MASCARENHAS et al., 2017; MARQUES et al., 2015; MAGALHÃES et al., 2016; ROSSET et al., 2014, SALTON et al., 2008; OZÓRIO et al., 2019; FALCÃO et al., 2020). As diferentes técnicas de fracionamento do C ajudam a entender todo o funcionamento e contribuição dos sistemas de produção para entrada e saída do C no solo (MARQUES et al., 2015; SALTON et al., 2008).

Os diversos tipos de fracionamento da MOS buscam identificar como o manejo influencia na qualidade e quantidade de MOS armazenada, sendo que a escolha dos métodos de fracionamento depende do objetivo do estudo, seja ele para a caracterização física ou caracterização e identificação química. Mas o principal intuito das técnicas de fracionamento é separar frações homogêneas quanto à natureza, dinâmica e função (SWIFT, 1996; BENITES et al., 2003; CAMBARDELLA et al., 1992; CHAN et al., 2001). Através das informações dos diferentes compartimentos que compõem a MOS, é possível inferir sobre a qualidade do solo de forma regionalizada, em diferentes condições de cultivo (ROSSET et al., 2016; LOSS et al., 2015; FALCÃO et al., 2020; OZÓRIO et al., 2019; ASSUNÇÃO et al., 2019; FERREIRA et al., 2020).

Os métodos de fracionamento físico da MOS são divididos em dois, e são considerados procedimentos mais sensíveis em verificar alterações na dinâmica da MOS em decorrência da adoção de diferentes sistemas de manejo do solo, apresentando também uma natureza menos destrutiva e relacionada a tamanho dos compostos de MOS.

O método físico-granulométrico da MOS é utilizado amplamente por vários autores para relacionar a MOS com a agregação e estabilidade de agregados (ROSSET et al., 2019), ou para a quantificação de compartimentos da MOS (OZÓRIO et al., 2019), enfatizando o papel das frações minerais na estabilização e transformação da MOS. Esse método divide por tamanho a MOS em dois compartimentos a matéria orgânica particulada e a matéria orgânica mineral, seguindo a metodologia de Cambardella et al. (1992).

O Fracionamento físico densimétrico avalia as frações da MOS através da densidade das partículas, dividindo-as em frações leves e pesadas (SOLLINS et al., 1996). A fração leve pode se dividir em duas frações: a fração leve livre, que compreende a uma fração interagregados, com composição molecular compatível com os materiais vegetais dos quais originam-se (FREIXO et al., 2002). E a fração leve oclusa, que é uma fração intra-agregados, com compostos orgânicos que apresentam maior grau de decomposição (GOLCHIN et al., 1994; FREIXO et al., 2002).

Os procedimentos de fracionamento químico são bastante recorrentes nos estudos da MOS, que tem como objetivo avaliar o estágio de humificação da MOS e a estrutura húmica, sendo avaliados por meios quantitativos de acordo com a predominância de uma ou outra fração química, ou por meio qualitativo onde

estuda-se separadamente a estruturação química de cada fração através de análises químicas e espectroscópicas das frações, podendo-se caracterizar os grupamentos funcionais da MOS (JOHNSTON et al., 1996; JOHNSTON et al., 1994; STEVENSON, 1994; PEREIRA et al., 2013; ASSUNÇÃO et al., 2019). O fracionamento químico consiste na extração de substâncias húmicas do solo e posterior obtenção de três principais componentes (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina). Estas frações são definidas operacionalmente em relação às suas solubilidades em meio aquoso em função do pH da solução extratora (meio ácido ou alcalino) (BENITES et al., 2003; BALDOTTO et al., 2015).

Embora seja muito utilizado, este fracionamento ainda apresenta certas limitações quanto a comparação de resultados, uma vez que são empregados diferentes extratores e diferentes quantificações de ácidos húmicos e fúlvicos (determinação de carbono de cada fração por oxidação sulfocrômica, densidade ótica, entre outras) (BENITES et al., 2003; CANELLAS et al., 2003). Porém, nos últimos anos vem ocorrendo uma padronização nos trabalhos com a crescente adoção dos métodos preconizados pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS), sendo procedimento adequado para distintos solos, e que pode ser realizado mesmo com poucos recursos laboratoriais (BENITES et al., 2003).

Outra técnica de fracionamento, baseia-se no grau de oxidação (fracionamento oxidável) do C e produz quatro frações (F1, F2, F3 e F4) a metodologia foi descrita por Chan et al. (2001). As duas primeiras frações estão relacionadas a disponibilidade de nutrientes e formação de macroagregados (BARRETO et al., 2011), já as frações F3 e F4 tem um tempo de persistência no solo por maior tempo e está relacionada a frações mais estabilizadas, apresentando maior peso molecular (RANGEL et al., 2008).

DISCUSSÃO TEÓRICA

Indicadores físicos de qualidade do solo

Dentre os indicadores de qualidade física do solo, um dos principais métodos de avaliação, é a estabilidade de agregados do solo (LOSS et al., 2015; SANTOS et al., 2019). Os agregados são definidos como um aglomerado de partículas primárias, como argila, silte e areia, além da matéria orgânica, apresentando tamanhos iguais ou menores que 2 µm até maiores que 2000 µm. São divididos em macroagregados (maiores que 250 µm) e microagregados (menores que 250 µm) (AZEVEDO et al., 2004). Através da análise de agregação do solo, é possível o cálculo de importantes índices que auxiliam na avaliação da qualidade do solo: diâmetro médio ponderado (DMP) (KIEHL, 1979), diâmetro médio geométrico (DMG) (KEMPER et al., 1986) e porcentagem de agregados maiores que 2 mm (CAMPOS et al., 2016; ROSA et al., 2018).

A formação e estabilidade dos agregados estão diretamente associados a fatores abióticos relacionados com umedecimento/secagem, congelamento/descongelamento, compactação e também a fatores bióticos como as ações mecânica das raízes e hifas de organismos ou pela excreção de exsudados, substâncias mucilaginosas e húmicas produzidas pelos organismos, substâncias com ação cimentante que também estimulam a atividade de outros microrganismos, cujos subprodutos também atuam na estabilização dos agregados (COUTINHO et al., 2010). Trabalhos como de Salton et al. (2008), Loss et al.

(2013) e Loss et al. (2015) vem destacando que entre os diferentes tipos de vegetação nos sistemas produtivos, as gramíneas bem manejadas, seja nos sistemas pastagem em monocultivo ou nos sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), são as mais eficientes em aumentar e/ou manter a estabilidade de agregados dos solos tropicais, devido principalmente à alta densidade de suas raízes associados a renovação constante. Diferentemente de resultados observados em sistemas com revolvimento intenso do solo como o sistema de preparo convencional (LOSS et al., 2015; LOSS et al., 2013; FALCÃO et al., 2020).

Vale ressaltar que os agregados estáveis diminuem as perdas de partículas e nutrientes por processos erosivos, aumenta a capacidade de armazenamento de água, constituem micro-habitats para microrganismos do solo fornecendo nutrientes e proteção para estes organismos, além de contribuir para a proteção da MOS e realizar o sequestro de C (SALTON et al., 2008; PEREIRA et al., 2013; LOSS et al., 2015; ROMANIW et al., 2015).

Além da análise de agregação, outras análises físicas como densidade do solo (Ds) e resistência do solo a penetração (RP) são importantes indicadores para maior compreensão da qualidade do solo, além de se correlacionarem com outros indicadores como a umidade, porosidade e estabilidade estrutural do solo, o que permite prever o grau de impacto do manejo no solo (SALTON et al., 2008).

Por serem atributos de fácil mensuração e interpretação, além de sensíveis ao manejo, são muito empregados nas avaliações dos impactos dos sistemas de produção agrícola (CORTEZ et al., 2018; VALENTE et al., 2019). A avaliação da qualidade do solo por meio de indicadores físicos é amplamente usada devido ao uso intensivo de máquinas e a superlotação de animais nos sistemas de produção brasileiro (LOSS et al., 2015).

Mesmo no SPD que preconiza a redução do revolvimento do solo, emprego da rotação de culturas e permanência da cobertura residual no solo, tende a reduzir os valores de Ds e RP do solo, resultado proporcionado pela exploração do perfil do solo por distintos sistemas radiculares, inclusive com efeito descompactador (PEIXOTO et al., 2020; PEIXOTO et al., 2019; BIBERDZIC et al., 2020).

Como citado anteriormente atributos como a Ds e RP apresentam correlações diretas com outros atributos edáficos, especialmente a porosidade do solo. A análise de porosidade tem por objetivo quantificar os espaços porosos do solo, dividindo-se em macro e microporos, além da somatória dos dois que representa a porosidade total (SALTON et al., 2008). A porosidade no solo é um indicador imprescindível, pois está diretamente ligada ao balanço hídrico (infiltração e armazenamento de água) no solo (LOSS et al., 2015). Solos com elevados valores de Ds e RP tem menor quantidade de poros totais, dificultando a infiltração de água no solo, com consequente aumento do escoamento superficial e potencialização da formação de processos erosivos nos solos manejados (LAL, 2018).

O cultivo intensivo, aliado à alta taxa de revolvimento do solo, uso excessivo de maquinário, manejo inadequado e ausência de reforma de pastagens, além da superlotação animal, são os principais responsáveis pela redução de tamanho dos poros, além do impedimento do processo de estabilização dos agregados, aumento da Ds e RP (ROSSET et al., 2014; LOSS et al., 2015).

Sistemas conservacionistas, a exemplo dos SIPAs, ou até mesmo o SPD, que preconizam o não

revolvimento do solo ou revolvimento localizado na linha de semeadura, com consequente recebimento de maior aporte de resíduos orgânicos devido à maior heterogeneidade de espécies vegetais nos sistemas rotacionais, geralmente têm-se mostrado eficientes na melhoria dos atributos físicos do solo (SALTON et al., 2008). Uma diversidade de sistemas radiculares, comum nos sistemas conservacionistas, proporciona efeitos benéficos na descompactação do solo que, após consequente decomposição da massa radicular, contribuem para formação de estruturas mais estáveis e de uma arquitetura de poros permanentes, conferindo ao solo aumento na porosidade total, especificamente no aumento do volume de macroporos (CAVALCANTI et al., 2020; CANISARES et al., 2019; VALQUES et al., 2019).

Indicadores Biológicos de qualidade do solo

As análises biológicas do solo são muito importantes para entendimento da qualidade do solo, principalmente por serem sensíveis em evidenciar modificações no uso do solo em curto período de tempo (CARNEIRO et al., 2009). Desta forma, a maioria das análises biológicas do solo necessitam ser sensíveis, tanto com a forma amostral como o processo analítico (VANCE et al., 1987).

Uma variável biológica muito utilizada por pesquisadores que trabalham com qualidade do solo é o carbono da biomassa microbiana (VANCE et al., 1987). A análise é realizada através do método de fumigação e extração, sendo uma variável biológica muito importante, principalmente por apresentar extrema sensibilidade nos mais variados tipos de solo, clima, manejo (OLIVEIRA et al., 2001; PEREZ et al., 2004; CARNEIRO et al., 2009; GONÇALVES et al., 2019), além de ser a parcela viva da matéria orgânica do solo (FEDRIGO et al., 2013; SILVA et al., 2012), pois atua como agente de transformação bioquímica dos compostos e como reserva de nutrientes (MOREIRA et al., 2006).

Outra variável biológica importante e que se correlaciona com a biomassa microbiana é a respiração microbiana. A metodologia de análise deste indicador é através da quantificação do dióxido de carbono (CO₂) evoluído com captação pelo NaOH, sendo essa uma das técnicas mais utilizadas nas avaliações de qualidade biológica do solo (ALEF et al., 1995). Essa análise se destaca como ferramenta para avaliação da qualidade biológica do solo (SOUZA et al., 2010; LOSS et al., 2013), uma vez que a adição de quantidades consideráveis de C em função de sua recalcitrância, estimula a atividade desses microrganismos e, consequentemente, influencia na mineralização de nutrientes, ciclagem de C, entre outros benefícios (LOSS et al., 2013; BORGES et al., 2015).

A correlação da biomassa microbiana com o teor de COT do solo também é uma variável biológica e um dos métodos usados foi descrito por Anderson et al. (1993), essa correlação entre Biomassa microbiana e o teor de COT é tratada como quociente microbiano. Neste mesmo trabalho os autores apresentam ainda o quociente metabólico, que é a relação da biomassa microbiana com o carbono da biomassa microbiana (ANDERSON et al., 1993). Essas variáveis permitem um entendimento de como o manejo, tipo de solo e clima influenciam na atividade biológica do solo (CARNEIRO et al., 2008; KARUNGI et al., 2018).

As atividades das enzimas uréase e da fosfatase ácida também são alteradas pelos diferentes sistemas de manejo, sendo utilizadas como indicadores de qualidade e de modificações na qualidade edáfica

(CARNEIRO et al., 2008; LISBOA et al., 2012; TRANNIN et al., 2007). Além das atividades da uréase e da fosfatase, os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), são alterados pelas práticas de manejo adotadas. Os FMAs são um dos principais componentes da microbiota do solo e mais comumente encontrados nos biomas tropicais, nos quais desempenham papel fundamental nos ecossistemas, e as alterações ocasionadas pelos diferentes manejos podem ocasionar a perda da biodiversidade desses fungos (MOREIRA et al., 2006).

Mudanças no uso e ocupação do solo, além de mudanças climáticas, causam alterações na quantidade e diversidade da macrofauna edáfica, sendo que estes organismos influenciam diretamente nos atributos físicos e químicos do solo (SIEBERT et al., 2019; BLOUIN et al., 2013). A macrofauna do solo é composta por animais com diâmetro corporal maior que 2 mm, entre eles formigas, aranhas, coleópteros, minhocas, térmitas, centopeias, diplópodes, dentre outros, sendo representados por mais de 20 ordens taxonômicas, podendo ser classificados conforme a sua funcionalidade em saprófagos, parasitas, predadores e engenheiros do ecossistema (AQUINO et al., 2008). As duas principais variáveis da macrofauna é quantidade de indivíduos e a diversidade, sendo que uma das metodologias mais utilizadas é apresentada por Anderson et al. (1993).

A fauna edáfica apresenta-se como uma das principais responsáveis pela estruturação nos horizontes superficiais do solo, com suas atividades de incorporação de compostos orgânicos, alimentação, formação de ninhos e caminhos de passagem (VELÁSQUEZ et al., 2012), desempenhando também papel fundamental na decomposição e ciclagem de nutrientes (HÖFER et al., 2001).

A diversidade biológica do solo exerce significativa interação com a manutenção e com a qualidade do ambiente, tendo alta sensibilidade em identificar modificações no manejo do ambiente (BROWN et al., 2009). A grande interação da macrofauna com a serrapilheira nas áreas nativas e com a palha nos sistemas de manejo, impulsionam as escolhas por análise da macrofauna na serrapilheira e na palha dos sistemas avaliados (ROVEDDER, 2014). A atividade da macrofauna do solo depende de alguns fatores como tipo de solo, clima e a qualidade do material orgânico disponível para decomposição (MATHIEU et al., 2004).

A atividade desses organismos edáficos promove a melhoria dos atributos físicos e químicos, desta forma, as avaliações de macrofauna edáfica sempre estão atreladas a análises químicas e físicas do solo (BARROS et al., 2003). A construção de galerias e de ninhos desses organismos aumentam a porosidade, auxiliam na agregação e estruturação do solo e, conseqüentemente, aumentam a infiltração de água no solo (BARROS et al., 2001; 2004; TRESCH et al., 2019; MOHIEDDINNE et al., 2019).

As modificações no uso do solo promovem alterações na cobertura do solo, sendo que as vegetações nativas dão lugar a áreas agricultáveis, que muitas vezes diminuem a fração orgânica solo (ROSSET et al., 2014; LOSS et al., 2015). Essas alterações modificam o microclima do solo, com aumento da exposição à radiação solar e da temperatura do solo, com conseqüente diminuição da umidade do mesmo, influenciando na presença de alguns grupos de macrofauna edáfica do solo (BARROS et al., 2003; MATHIEU et al., 2009). Além de provocar um microclima diferenciado, a conversão de áreas naturais em sistemas de produção, alteram o tipo de material vegetal, uma vez que florestas naturais possuem um extrato florestal mais diversificado com folhas, galhos, sementes e frutos, que influencia significativamente para o aumento da

diversidade e quantidade de fauna edáfica e consequentemente melhoria dos atributos químicos e físicos do solo (OZÓRIO et al., 2019).

Alguns trabalhos mais específicos tratam da ausência de alguns grupos específicos de macrofauna no solo devido à presença de compostos químicos oriundos de agrotóxicos (PRADO et al., 2016; SOARES et al., 2019; SIEBERT et al., 2019). Esses trabalhos tratam de uma abordagem diferente que também é provocada pela conversão de áreas em sistemas de produção que possuem a aplicação de agrotóxicos (NARE et al., 2017; PRASHAR et al., 2016).

CONCLUSÕES

Com o texto apresentado é possível identificar as principais variáveis de qualidade do solo, e sua importância para avaliar os impactos dos diferentes sistemas de uso e preparo de solo, nos diferentes tipos e textura de solo, topográfica, clima e biomas.

Apesar do presente estudo apresentar diferentes métodos de avaliação da qualidade do solo, o texto não aborda análises com ênfase especificamente disciplinar, abordando apenas as análises gerais e mais comuns realizadas pelos pesquisadores.

REFERÊNCIAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P.. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I.. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2 ed. Wallingford: CAB International, 1993.

AQUINO, A. M.; SILVA, R. F.; MERCANTE, F. M.; CORREIA, M. E. F.; GUIMARÃES, M. D.; LAVELLE, P.. Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no-till system in the Cerrado. **European Journal of Soil Biology**, v.44, n.2, p.191-197, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.05.001>

ASSUNÇÃO, S. A.; PEREIRA, M. G.; ROSSET, J. S.; BERBARA, R. L. L.; GARCIA, A. C.. Carbon input and the structural quality of soil organic matter as a function of agricultural management in a tropical climate region of Brazil. **Science of The Total Environment**, v.658, p.901-911, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.271>

AZEVEDO, A. C.; BONUMÁ, A. S.. Partículas coloidais, dispersão e agregação em Latossolos. **Ciência Rural**, v.34, n.2, p.609-617, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000200046>

AZIZ, I.; MAHMOOD, T.; ISLAM, K. R.. Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. **Soil & Tillage Research**, v.131, p.28-35, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.03.002>

BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B.. Ácidos húmicos. **Ceres**, n.61, v.7, p.856-881, 2015.

BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G. S.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO,

Q. R.; FREIRE, F. J.; INÁCIO, E. S. B.. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1471-1478, 2008. DOI: [10.1590/S0100-06832008000400011](https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400011)

BARRIOS, E.; VALENCIA, V.; JONSSON, M.; BRAUMAN, A.; HAIRIAH, K.; MORTIMER, P. E.; OKUBO, S.. Contribution of trees to the conservation of biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes. **International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management**, v.14, n.1, p.1-16, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/21513732.2017.1399167>

BARROS, E.; CURMI, P.; HALLAIRE, V.; CHAUVEL, A.; LAVELLE, P.. The role of macrofauna in the transformation and reversibility of soil structure of an oxisol in the process of forest to pasture conversion. **Geoderma**, v.100, n.1-2, p.193-213, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(00\)00086-0](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00086-0)

BARROS, E.; GRIMALDI, M.; SARRAZIN, M.; CHAUVEL, A.; MITJA, D.; DESJARDINS, T.; LAVELLE, P.. Soil physical degradation and changes in macrofaunal communities in Central Amazon. **Applied Soil Ecology**, v.26, n.2, p.157-168, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2003.10.012>

BARROS, E.; NEVES, A.; BLANCHART, E.; FERNANDES, E.C.; WANDELLI, E.; LAVELLE, P.. Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural systems in Amazonia. **Pedobiologia**, v.47, p.273-280, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1078/0031-4056-00190>

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A.. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do**

solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003.

BIBERDZIC, M.; BARAC, S.; LALEVIC, D.; DJIKIC, A.; PRODANOVIC, D.; RAJICIC, V.. Influence of soil tillage system on soil compaction and winter wheat yield. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v.80, n.1, p.80-89, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392020000100080>

BLOUIN, M.; HODSON, M. E.; DELGADO, E. A.; BAKER, G.; BRUSSAARD, L.; BUTT, K. R.. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. **European Journal of Soil Science**, v.64, p.161-182, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejss.12025>

BROWN, G. G.; SAUTTER, K. D.. Biodiversity, conservation and sustainable management of soil animals: the XV International Colloquium on Soil Zoology and XII International Colloquium on Apterygota. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1-9, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000800001>

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; NASCIMENTO, M. F.; SILVA, D. M. P.. Estoque de carbono no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. **Revista Ambiente & Água**, v.11, n.2, p.339-349, 2016. DOI: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92845330009>

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T.. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, n.3, p.777-783, 1992.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A.. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.5, p.935-944, 2003.

CANISARES, L. P.; CHERUBIN, M. R.; SILVA, L. F. S.; FRANCO, A. L. C.; COOPER, M.; MOONEY, S. J.; CERRI, C. E. P.. Soil microstructure alterations induced by land use change for sugarcane expansion in Brazil. **Soil Use and Management**, v.36, n.2, p.189-199, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/sum.12556>

CARNEIRO, M. A. C.; ASSIS, P. C. R.; MELO, L. B. C.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SILVEIRA NETO, A. N.. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.38, n.4, p.276-283, 2008.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. D.. ATRIBUTOS físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.1, 2009.

CAVALCANTI, R. Q.; ROLIM, M. M.; LIMA, R. P.; TAVARES, U. E.; PEDROSA, E. M.; CHERUBIN, M. R.. Soil physical changes induced by sugarcane cultivation in the Atlantic Forest biome, northeastern Brazil. **Geoderma**, v.370, p.114353, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114353>

CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A.. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an Paleustalf under different pasture leys. **Soil Science**, v.166, n.1, p.61-67, 2001.

CORTEZ, J. W.; MATOS, W. P. S.; ARCOVERDE, S. N. S.; CAVASSINI, V. H.; VALENTE, I. Q. M.. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração: Parte I. **Engenharia Agrícola**, v.38, n.5, p.1-9, 2018.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R.. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.3, p.453-461, 2012. DOI: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195322286006>

DALMOLIN, R. S. D.; CATEN, A. T.. Uso da terra dos biomas brasileiros e o impacto sobre a qualidade do solo. **Entre-Lugar**, v.3, n.6, p.181-193, 2012.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B.. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A.. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.3-22.

FALCÃO, K. S.; MONTEIRO, F. N.; OZÓRIO, J. M. B.; SOUZA, C. B. S.; FARIAS, P. G. S.; MENEZES, R. S.; PANACHUKI, E.; ROSSET, J. S.. Estoque de carbono e agregação do solo sob diferentes sistemas de uso no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v.55, n.2, p.242-255, 2020. DOI: <http://doi.org/10.5327/Z2176-947820200695>

FEDRIGO, J. K.; ATAÍDE, P. F.; AZAMBUJA FILHO, J. C. R.; NABINGER, C.; BARBOSA, M. A.; ANGHINONI, I.. Atributos microbianos do solo sob pastagens naturais com diferentes intensidades de pastejo. **Semiárida**, v.22, p.53-60, 2013.

FELICIANO, C. A.; LOPES, A. W. P.; SILVA, M. C.; COSTA, M. B. B.; FERRANTE, V. L. S. B.. Qualidade do solo em sistemas de manejo convencional e orgânico na propriedade da agricultura familiar. **Revista Interdisciplinar de Tecnologias e Educação**, v.4, n.1, p.1-22, 2018.

FERREIRA, C. R.; SILVA NETO, E. C.; PEREIRA, M. G.; GUEDES, J. N.; ROSSET, J. S.; ANJOS, L. H. C.. Dynamics of soil aggregation and organic carbon fractions over 23 years of no-till management. **Soil and Tillage Research**, v.198, p.105533, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104533>

FREIXO, A. A.; CANELLAS, L. P.; MACHADO, P. A.. Propriedades espectrais da matéria orgânica leve-livre e leve intra-agregado de dois Latossolos sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.2, p.445-453, 2002.

GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O.; CLARKE, P.. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by solid state ¹³C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. **Soil Research**, v.32, n.2, p.285-309, 1994.

GONÇALVES, V. A.; MELO, C. A. D.; ASSIS, I. R.; FERREIRA, L. R.; SARAIVA, D. T.. Biomassa e atividade microbiana de solo sob diferentes sistemas de plantio e sucessões de culturas.

Revista de ciências agrárias, v.62, p.1-8, 2019. DOI:

<http://dx.doi.org/10.22491/rca.2019.2611>

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G. M.; PERIN, A.. Densimetric fractionation of organic matter in an agricultural chronosequence in no-till areas in the Cerrado region, Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v.37, n.2, p.596-610, 2016.

HÖFER, H.; HANAGARTH, W.; GARCIA, M.; MARTIUS, C.; FRANKLIN, E.; RÖMBKE, J.; BECK, L.. Structure and function of soil fauna communities in Amazonian anthropogenic and natural ecosystems. **European Journal of Soil Biology**, v.37, p.229-235, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(01\)01089-5](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(01)01089-5)

ISBELL, F.; COWLES, J.; DEE, L. E.; LOREAU, M.; REICH, P. B.; GONZALEZ, A.; SCHMID, B.. Quantifying effects of biodiversity on ecosystem functioning across times and places. **Ecology Letters**, v.21, n.6, p.763-778, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.12928>

JOHNSTON, C. T.; AOCHI, Y. O.. Fourier transform infrared and raman spectroscopy. In: SPARKS, D. L.. **Methods of soil analysis. Chemical methods**. 2 ed. Madison: Agronomy Society American Journal, 1996. p.269-321.

JOHNSTON, C. T.; DAVIS, W. M.; ERICKSON, C.; DELFINO, J. J.. Characterization of humic substances using Fourier transform infrared spectroscopy. In: SENESI, N.; MIANO, T. M.. **Humic substances in the global environment and implications on human health**. New York, 1994. p.145-152.

KARUNGI, J.; CHERUKUT, S.; IJALA, A. R.; TUMUHAIRWE, J. B.; WABBI, J. B.; NUPPENAU, E. A.; HOEHER, M.. Elevation and cropping systems as drivers of microclimate and abundance of soil macrofauna in coffee farmlands in mountainous ecologies. **Applied Soil Ecology**, v.132, p.126-134, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.08.003>

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C.. Aggregate stability and size distribution. In: KLUNTE, A.. **Methods of soil analysis**. Parte 1: physical and mineralogical methods. Kimberley: American Society of Agronomy, 1986. p.425-443.

KIEHL, E. J.. **Manual de edafologia: Relações solo-planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979.

KOVEN, C. D.; HUGELIUS, G.; LAWRENCE, D. M.; WIEDER, W. R.. Higher climatological temperature sensitivity of soil carbon in cold than warm climates. **Nature Climate Change**, v.7, n.11, p.817, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate3421>

LAL, R.. Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. **Global Change Biology**, v.24, p.3285-3301, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.14054>

LI, J.; RAMIREZ, G. H.; KIANI, M.; QUIDEAU, S.; SMITH, E.; JANZEN, H. PUURVEEN, D.. Soil organic matter dynamics in long-term temperate agroecosystems: rotation and nutrient addition effects. **Canadian Journal of Soil Science**, v.98, n.2, p.232-245, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjss-2017-0127>

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. D. O.; MARTINS, A.

F.; SELBACH, P. A.. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.1, p.33-44, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100004>.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. P.; OLIVEIRA, R. A.; KURTZ, C.; COMIN, J. J.. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.4, p.1212-1224, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140718>.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J.; PERIN, A.; CUNHA DOS ANJOS, L. H.. Carbono mineralizável, carbono orgânico e nitrogênio em macroagregados de Latossolo sob diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado Goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n.5, p.2153-2168, 2013. DOI: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744135013>.

MACE, G. M.; BARRETT, M.; BURGESS, N. D.; CORNELL, S. E.; FREEMAN, R.; GROOTEN, M.; PURVIS, A.. Aiming higher to bend the curve of biodiversity loss. **Nature Sustainability**, v.1, n.9, p.448, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0130-0>.

MAGALHÃES, S. S. A.; RAMOS, F. T.; WEBER, O. L. S.. Carbon stocks of an Oxisol after thirty-eight years under different tillage systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.1, p.85-91, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n1p85-91>

MARQUES, J. D. O.; LUIZÃO, F. J.; TEIXEIRA, W. G.; SARRAZIN, M.; FERREIRA, S. J. F.; BELDINI, T. P.; MARQUES, E. M. A.. Distribution of organic carbon in different soil fractions in ecosystems of central Amazonia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.1, p.232-242, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20150142>

MASCARENHAS, A. R. P.; SCCOTI, M. S. V.; MELO, R. R.; CORRÊA, F. L. O.; SOUZA, E. F. M.; ANDRADE, R. A.; BERGAMIM, A. C.; MULLER, M. W.. Atributos físicos e estoques de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Occidental. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.37, n.89, p.19-27, 2017.

MATHIEU, J.; GRIMALDI, M.; JOUQUET, P.; ROULAND, C.; LAVELLE, P.; DESJARDINS, T.; ROSSI, J. P.. Spatial patterns of grasses influence soil macrofauna biodiversity in Amazonian pastures. **Soil Biology and Biochemistry**, v.41, n.3, p.586-593, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.12.020>

MATHIEU, J.; ROSSI, J. P.; GRIMALDI, M.; MORA, P.; LAVELLE, P.; ROULAND, C.. A multi-scale study of soil macrofauna biodiversity in Amazonian pastures. **Biology and Fertility of Soils**, v.40, n.5, p.300-305, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-004-0777-8>

MOHIEDDINNE, H.; BRASSEUR, B.; SPICHER, F.; GALLET-MORON, E.; BURIDANT, J.; KOBALSI, A.; HOREN, H.. Physical recovery of forest soil after compaction by heavy machines, revealed by penetration resistance over multiple decades. **Forest Ecology and Management**, v.449, p.117472, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117472>

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Universidade Federal de Lavras,

2006.

MAYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A.; KENT, J.. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v.403, n.6772, p.853, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1038/35002501>

NARE, R. W. A.; SAVADOGO, P. W.; TRAORE, M.; GOUNTAN, A.; NACRO, H. B.; SEDOGO, M. P.. Soil Macrofauna Behaviour in the Presence of Pesticides and Organic Amendments. **Journal of Geoscience and Environment Protection**, v.5, n.03, p.202, 2017. DOI: <http://doi.org/10.4236/gep.2017.53014>

OLIVEIRA, J. R. A.; MENDES, I. C.; VIVALDI, L.. Carbono da biomassa microbiana em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.4, p.863-871, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000400009>

OZÓRIO, J. M. B.; ROSSET, J. S.; SCHIAVO, J. A.; PANACHUKI, E.; SOUZA, C. B. S.; MENEZES, R. S.; XIMENES, T. S.; CASTILHO, S. C. P.; MARRA, L. M.. Estoque de carbono e agregação do solo sob fragmentos florestais nos biomas mata atlântica e cerrado. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n.53, p.97-116, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820190518>

PEIXOTO, D. S.; SILVA, L. D. C. M.; MELO, L. B. B.; AZEVEDO, R. P.; ARAÚJO, B. C. L.; CARVALHO, T. S.; MOREIRA, S. G.; CURI, N.; SILVA, B. M.. Occasional tillage in no-tillage systems: A global meta-analysis. **Science of The Total Environment**, v.745, p.140887, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140887>

PEIXOTO, D. S.; SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G. C.; MOREIRA, S. G.; SILVA, F.; CURI, N.. A soil compaction diagnosis method for occasional tillage recommendation under continuous no tillage system in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.194, p.104307, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104307>

PEREZ, K. S. S. k.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C.. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.6, p.567-573, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000600008>

PRADO, B.; STROZZI, A. G.; HUERTA, E.; DUWIG, C.; ZAMORA, O.; DELMAS, P.; MÁRQUEZ, J.. 2, 4-D mobility in clay soils: Impact of macrofauna abundance on soil porosity. **Geoderma**, v.279, p.87-96, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.06.007>

PRASHAR, P.; SHAH, S.. Impact of fertilizers and pesticides on soil microflora in agriculture. **Sustainable Agriculture Reviews**, Springer, v.19, p.331-361, 2016. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7_8

PRIP, C.. The Convention on Biological Diversity as a legal framework for safeguarding ecosystem services. **Ecosystem Services**, v.29, p.199-204, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.02.015>

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; GUILHERME, L. R. G.. Frações oxidáveis do carbono orgânico

de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, p.429-437, 2008. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1413-70542008000200013>

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M.. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v.142, n.6, p.1141-1153, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>

ROMANIW, J.; SÁ, J. C. M.; PADILHA, A. A.; RAMOS, F. S.; EURICH, G.; BRESSAN, P. T.. Carbon dynamics in no-till soil due to the use of industrial organic waste and mineral fertilizer. **Revista Ciência Agronômica**, v.46, n.3, p.477-487, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20150029>

ROSA, S. F. D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; FLEIG, F. D.; RODRIGUES, M. F.; GELAIN, N. S.. Physical and chemical properties of an ultisol under cultivation of eucalyptus dunnii maiden of Pampa gaúcho. **Ciência Florestal**, v.28, n.2, p.580-590, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509832040>

ROSSET, J. S.; LANA, C. M.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M.. Frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1529-1538, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900052>

ROSSET, J. S.; LANA, M. C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M.; SEIDEL, E. P.. Estoque de carbono, propriedades químicas e físicas do solo em sistemas de manejo com diferentes tempos de implantação na Região Oeste do Paraná, Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, n.6, p.3053-3072, 2014.

ROSSET, J. S.; LANA, M. C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M.. Organic matter and soil aggregation in agricultural systems with different adoption times. **Semina: Ciências Agrárias**, v.40, n.6, p.3443-3460, 2019.

ROVEDDER, A. P.; ANTONIOLLI, Z. I.; SPAGNOLLO, E.; VENTURINI, S. F.. Fauna edáfica em solo suscetível à arenização na região sudoeste do Rio Grande do Sul. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.3, n.2, p.87-96, 2004.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L.. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.1, p.11-21, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100002>

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA J. R., L. G.. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.166, p.113-124, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0988-4>

SANTOS, C. A.; REZENDE, C. D. P.; PINHEIRO, É. F. M.; PEREIRA, J. M.; ALVES, B. J.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.. Changes in soil carbon stocks after land-use change from native vegetation to pastures in the Atlantic forest region of Brazil. **Geoderma**, v.337, p.394-401, 2019. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.045>

SAUNDERS, D. A.; HOBBS, R. J.; MARGULES, C. R.. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. **Conservation Biology**, v.5, n.1, p.18-32, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1991.tb00384.x>

SIEBERT, J.; EISENHAEUER, N.; POLL, C.; MARHAN, S.; BONKOWSKI, M.; HINES, J.; KOLLER, R.; RUESS, L.; THAKUR, M. P.. Earthworms modulate the effects of climate warming on the taxon richness of soil meso-and macrofauna in an agricultural system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.278, p.72-80, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.03.004>

SILVA, J. R. M.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F.; REZENDE, J. V. O.; BARRETA, P. G. V.; ZUFFO, A. M.. Total organic carbon and the humic fractions of the soil organic matter in silvopastoral system. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.15, n.2, p.e6874, 2020. DOI: <http://doi.org/10.5039/agraria.v15i2a6874>

SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; MIGUEL, D. L.; FERNANDES, J. C. F.; LOSS, A.; MENEZES, C. E. G.; SILVA, E. M.. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.6, p.1680-1689, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000600002>

SOARES, C. E. S.; MAIORKA, A.; DAHLKE, F.; SCUSSEL, V. M.. Scanning electron microscopy of macrofauna isolated from poultry litter: No pesticide treated. **Scanning Electron Microscopy**, v.9, n.9, 2019.

SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B. A.. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Geoderma**, v.74, n.1-2, p.65-105, 1996.

STEVENSON, F. J.. **Humus chemistry**: genesis, composition, reaction. New York: Wiley Interscience, 1994.

SWIFT, R. S.. Organic matter characterization. In: SPARKS, D.

L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E.. **Methods of soil analysis**, Madison: Soil Science Society American, 1996. p.1011-1020.

TRANNNIN, I. C. D. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. D. S.. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1173-1184, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500032>

TRESCH, S.; FREY, D.; LE BAYON, R. C.; ZANETTA, A.; RASCHE, F.; FLIESSBACH, A.; MORETTI, M.. Litter decomposition driven by soil fauna, plant diversity and soil management in urban gardens. **Science of the Total Environment**, v.658, p.1614-1629, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.235>

VALENTE, G. F.; SILVA, J. N.; PINTO, D. R. S.; GALVÃO, J. R.. Resistência mecânica à penetração em sistemas de manejo do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.14, n.1, p.140-145, 2019. DOI: <http://doi.org/10.18378/rvads.v14i1.5892>

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S.. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil biology and Biochemistry**, v.19, n.6, p.703-707, 1987. DOI: [https://dx.doi.org/10.1016%2F0038-0717\(87\)90052-6](https://dx.doi.org/10.1016%2F0038-0717(87)90052-6)

VALQUES, I. C.; SOUZA, A. A.; MORAIS, E. G.; BENEVENUTE, P. A.; SILVA, L. D. C.; HOMEM, B. G.; CASAGRANDE, D. R.; SILVA, B. M.. Improved management increases carrying capacity of Brazilian pastures. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.282, p.30-39, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.05.017>

VELÁSQUEZ, E.; FONTE, S. J.; BAROT, S.; GRIMALDI, M.; DESJARDINS, T.; LAVELLE, P.. Soil macrofauna-mediated impacts of plant species composition on soil functioning in Amazonian pastures. **Applied Soil Ecology**, v.56, p.43-50, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.01.008>

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.