

## CAPÍTULO 6

---

### A relevância da matéria orgânica para a manutenção da qualidade solo

Maria Amélia Bonfante da Silva, José Carlos Lambert, Otacílio José Passos Rangel, Renato Ribeiro Passos, Aline Marchiori Crespo, Bruno Fazolo Repposi, Alex Justino Zacarias, Marcus Vinícius Campos Gall, Maurício Novaes Souza

<http://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-04-6.c6>

#### Resumo

O solo pode ser compreendido como um sistema aberto que realiza continuamente troca de matéria e energia com o ambiente, gerando serviços ambientais diversos, os quais contribuem para o bem-estar humano. Dentre esses serviços estão incluídos os serviços de provisão, regulação e principalmente o de suporte, o qual promove a ciclagem e retenção de nutrientes e o armazenamento de carbono: processos esses fundamentais para a manutenção da fertilidade do solo, possibilitando o seu uso na agricultura e na pecuária. O solo é o meio de crescimento para as plantas, sendo capaz de suprir as necessidades vitais do ser humano relacionadas ao fornecimento de alimentos, energia e fibras. Portanto, sua qualidade é um fator fundamental na produtividade agrícola ou florestal e, para alcançar bons resultados na produção vegetal, é necessário que suas condições estejam próximas das consideradas ideais, de modo que as raízes das plantas consigam crescer, absorver nutrientes e água em níveis adequados. Sobre a matéria orgânica do solo, uma vez estando em seu nível ótimo, significa uma boa condição agrícola e ambiental deste, caracterizada por redução na erosão, alta capacidade de amortecimento e filtragem e um rico habitat para os organismos vivos. No entanto, o avanço no setor agropecuário acarreta transformações físicas das paisagens e artificialização dos ecossistemas. Desta forma, é necessário conhecer estratégias que enfatizem procedimentos que levem ao desenvolvimento ecologicamente sustentável, com novos arranjos tecnológicos compatíveis com a manutenção da matéria orgânica do solo e que viabilizem a conservação e, ou, a recuperação do meio ambiente nos processos de produção de alimentos.

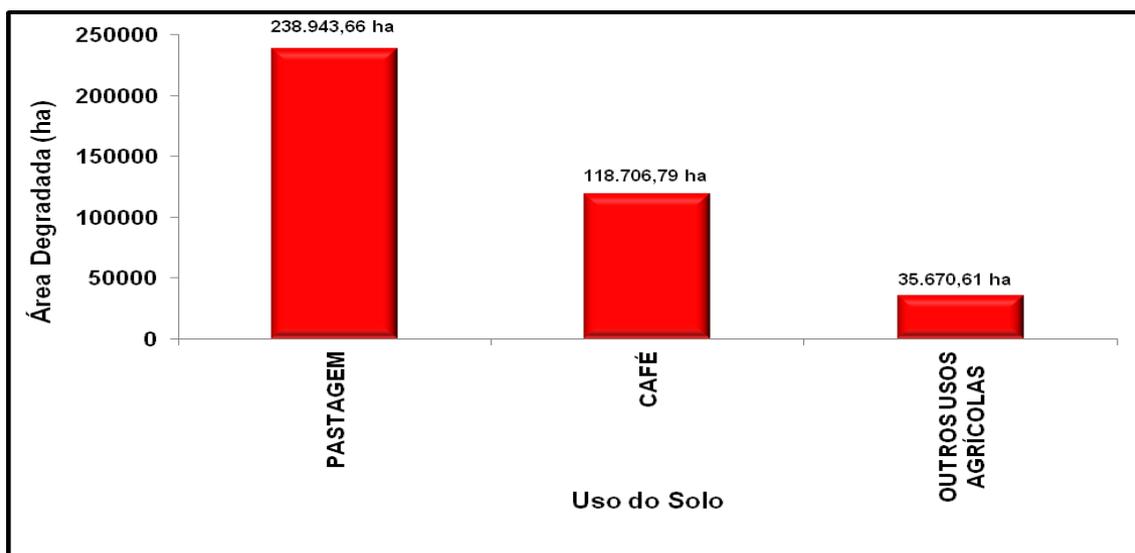
**Palavras-chave:** Degradação do solo. Matéria orgânica. Sustentabilidade ambiental.

#### 1. Introdução

A ocupação e o uso do solo dizem respeito ao modo como os seres humanos o utilizam. Seja para exploração agropecuária ou para habitação,

mudanças significativas na paisagem podem ocorrer ao se estabelecerem sem um planejamento prévio para o uso sustentável do espaço (OLIVEIRA et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2016; SOUZA, 2021).

Trinta por cento (30%) dos solos do mundo estão degradados. No Brasil, estima-se que há cerca de 140 milhões de ha de áreas degradadas, o que corresponde a 16,5% do território nacional (CGEE, 2016). O Espírito Santo (ES) possui 393 mil hectares de solos degradados, o que corresponde a 8,5 % da área estadual e 16,7 % da área agrícola total, destacando-se áreas cultivadas com pastagens e café - a pastagem apresenta a maior dimensão de área degradada com 238.943 ha, o café com 118.706 ha e outros usos agrícolas com 35.670 ha. No entanto, em termos percentuais, o café apresentou maior degradação do solo com 22,39 % de sua área total degradada, seguido pela pastagem com 18,19 % e, por fim, outros usos agrícolas com 6,96% (BARRETO; SARTORI, 2012) (Figura 1).



**Figura 1.** Percentual de degradação em função do manejo do solo. Fonte: Barreto; Sartori (2012).

Solos de clima tropical, como os brasileiros, são em geral ácidos, apresentam pH menor que 5,5, têm baixa capacidade de troca de cátions, baixos teores de Ca, Mg e P disponíveis e baixo teor de matéria orgânica. A matéria orgânica do solo (MOS) é um atributo decisivo na definição de sua qualidade, concentrando-se em maior quantidade na sua superfície, cuja função mais

importante é incorporar e estocar nitrogênio, carbono e outros elementos (SOUZA, 2018).

Há de se considerar, de acordo com esse mesmo autor, que além da influência com relação aos nutrientes, pode ser observada a atuação do componente orgânico no solo em associação com os componentes minerais, na formação de agregados e estruturação do solo, na retenção de umidade, incorporação de nutrientes como o N, aumento do efeito tampão do solo, aumento da CTC, da atividade microbiana, diminuição dos efeitos negativos do alumínio tóxico e redução da adsorção de grupamentos fosfatos aos coloides dos solos.

No entanto, o uso convencional dos recursos naturais de forma intensiva tem provocado perda da capacidade produtiva do solo, devido à redução de nutrientes, matéria orgânica e biodiversidade. A degradação de um ambiente ocorre devido ao manejo inadequado e ao uso intensivo do solo que, mesmo reversível, requer muito mais tempo e recursos para recuperar sua qualidade (SOUZA, 2021).

Em áreas naturais cobertas por matas nativas, formam-se importantes ecossistemas protetores da diversidade biológica, do equilíbrio hídrico e da qualidade das condições edafoclimáticas locais. Todavia, a transformação das áreas de vegetação natural em áreas de cultivo implica em mudanças na estrutura e no funcionamento dos ecossistemas.

Os solos sob florestas naturais expressam seu potencial intrínseco por intermédio de seus atributos físicos, químicos e biológicos, de grande valor qualitativo para o desenvolvimento das plantas e armazenamento de carbono (C). Enquanto que modificações nas classes de uso da terra podem alterar as propriedades químicas e biológicas do solo, interferindo, assim, na dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) - pode conduzir a um processo de mineralização da matéria orgânica, tendo como consequência o aumento nas emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera (GUIMARÃES et al., 2012; BARROS, 2013; SOUZA, 2018) (Figura 2).



**Figura 2.** Área conservada com vegetação nativa no IF Sudeste de Minas campus Rio Pomba: ambiente modificado e alteração nos níveis de MOS. Fonte: Arquivo Maurício Novaes (2016).

A matéria orgânica do solo é um atributo que apresenta alta sensibilidade ao manejo do solo e dos cultivos agrícolas (Figura 3). Com a extensão da fronteira agrícola, marcada pela remoção da vegetação nativa, mecanização intensiva e o uso de práticas de manejo inadequadas, alteram-se os atributos edáficos com reflexos na redução dos estoques de matéria orgânica e deterioração dos atributos do solo por ela influenciados (GAZOLLA et al., 2015).

A produtividade dos ecossistemas agrícolas e florestais depende, em grande parte, do processo de transformação da matéria orgânica e, por conseguinte, da atividade e biomassa dos microrganismos do solo. Neste contexto, a manutenção de resíduos vegetais no solo, em sistemas agropecuários, e a queda de restos vegetais para a formação de serapilheira, em sistemas florestais e agroflorestais, são determinantes na obtenção do equilíbrio da matéria orgânica no solo (SOUZA, 2015).



**Figura 3.** Área degradada por pastagem: potencialidade de perda de MOS.  
Fonte: Arquivo Sítio Gravel (2020).

## **2. A matéria orgânica do solo (MOS)**

A presença de nutrientes é um dos aspectos fundamentais que garantem a boa qualidade dos solos. Em ecossistemas nativos, a ciclagem natural de nutrientes é a grande responsável pela manutenção do bom funcionamento do solo. Essa ciclagem é fundamental para manter o estoque de nutrientes nos ecossistemas naturais, evitando a perda da fertilidade natural do solo (LOPES; GUILHERME, 2007).

A MOS é uma complexa mistura de resíduos vegetais e animais em diferentes estádios de decomposição - macro e microrganismos do solo e substâncias orgânicas por estes produzidas. Ou seja, a MOS é constituída por compostos de carbono em diferentes graus de associação com as fases minerais do solo originados a partir da decomposição de resíduos vegetais e animais. Além de ser fonte de nutrientes, a matéria orgânica apresenta cargas de superfície que contribuem para o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo e, devido a sua alta reatividade, regula a disponibilidade de vários nutrientes, em especial os micronutrientes, bem como a atividade de elementos

potencialmente fitotóxicos como  $Al^{3+}$  e  $Mn^{2+}$  e metais pesados em solos ácidos (ZANDONADI et al., 2014).

A MOS pode ser descrita como o componente não vivo da fração orgânica do solo, formada por uma mistura heterogênea composta principalmente pelos produtos resultantes da transformação química e microbiana de resíduos orgânicos. Esta fração não viva da MOS representa cerca de 95% de seus constituintes. A quantidade e composição da MOS são fortemente afetadas pelo uso e cobertura do solo (MAIA et al., 2013).

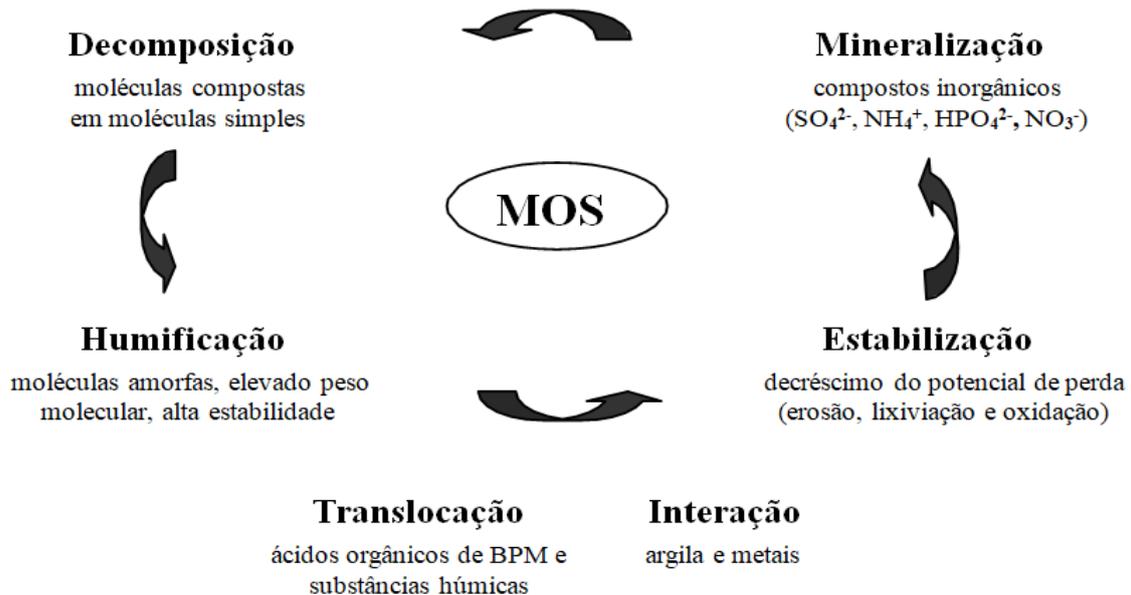
Por estar localizada em diferentes compartimentos, a MOS tem diferentes tempos de reciclagem e diferentes formas de proteção, constituindo frações lábeis e estáveis da MOS. A fração lábil, também denominada matéria orgânica particulada (MOP), é composta de materiais prontamente disponíveis à decomposição microbiana; e a fração estável, a matéria orgânica complexada (MOC), é aquela associada aos minerais do solo (GUIMARÃES et al., 2012).

Chan et al. (2001) propuseram fracionar o Carbono orgânico total (COT) em quatro graus decrescentes de oxidação, por meio da utilização de diferentes concentrações de ácido sulfúrico. Essa metodologia, denominada de fracionamento do COT por graus de oxidação, permite a classificação do carbono do solo nas frações F1, F2, F3 e F4. As frações F1 e F2 são mais lábeis e estão mais relacionadas à disponibilidade de nutrientes e à formação e a estabilização de macroagregados. Por outro lado, as frações F3 e F4 estão relacionadas aos compostos de maior estabilidade química e peso molecular, comuns nas frações humificadas da matéria orgânica e de maior tempo de residência no solo. O estudo dessas frações é de grande importância: elas auxiliam na interpretação das mudanças promovidas pelo uso e manejo do solo, antes que modificações sejam observadas nos teores de COT do solo (CHAN et al., 2001; LOSS et al., 2020).

Alterações nesses compartimentos causam mudanças na estrutura do solo e na sua capacidade de reter carbono atmosférico (RANGEL; SILVA, 2007). Assim, as variações na qualidade e nos estoques de carbono orgânico do solo também tendem a gerar alterações no teor de nitrogênio no sistema, pois os dois elementos possuem dinâmica semelhantes. Deste modo, as modificações no manejo podem comprometer a ciclagem de nitrogênio (CARDOSO et al., 2010).

De acordo com Pulrolnik (2013), a dinâmica da MOS é influenciada pelo

clima, temperatura, cobertura florestal, tipo uso e manejo de solo, sendo que o acúmulo de carbono no solo e sua transformação em matéria orgânica humificada dependem de processos físicos, químicos e ações biológicas de microrganismos e da fauna edáfica. Também pode ser considerada como dreno ou fonte de carbono atmosférico (Figura 4).



**Figura 4.** Dinâmica da matéria orgânica do solo em relação aos processos e subprocessos. Fonte: Roscoe; Mercante; Salton (2006).

A MOS é de grande importância na formação e manutenção das propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos tropicais, contribuindo com até 80% de sua CTC (PACHECO; PETTER, 2011). A MOS é também uma das principais indicadora de qualidade do solo e muito usada nos estudos dos impactos causados pelo seu manejo (GUIMARÃES et al., 2012).

Do ponto de vista do ambiente, o conteúdo de MOS é um dos principais indicadores de qualidade ambiental. Está envolvido e relacionado com as propriedades físicas, como a estrutura do solo (fornecimento de substâncias agregantes); químicas, como o suprimento de macro e micronutrientes, aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), tamponamento do pH; e biológicas do solo - é a principal fonte de carbono e energia para os organismos vivos do solo (PARRON et al., 2015). O teor e a qualidade da MOS estão associados às

atividades microbianas do solo, por ser a principal fonte de energia e nutrientes (WANG; XIONG; KUZYAKOV, 2016).

De acordo com Torres et al. (2005), em regiões tropicais, a taxa de decomposição da MOS atinge altos níveis devido às altas temperaturas, umidade e a atividade microbiana, reduzindo a quantidade dos resíduos adicionados ao solo. As mudanças no sistema de uso da terra, como a substituição de sistemas naturais em áreas agrícolas com cultivo mais intensivo, o frequente uso de queimadas e o preparo intensivo do solo intensifica o declínio da MOS (SILVA; MENDONÇA, 2007; SOUZA, 2015; LIU et al., 2020).

Devido à alta taxa de decomposição da MOS, sua manutenção nos solos tropicais é dificultada, o que exige maior deposição de resíduos com maior relação carbono/nitrogênio (C:N). Dessa forma, uma alternativa é a utilização de materiais orgânicos mais estáveis que podem aumentar a fertilidade e o estoque de carbono (C) no solo (RITTL et al., 2015). Espécies com maior relação C:N resistem mais à decomposição: geralmente as Poáceas são indicadas para este fim (ANGELETTI, 2016).

Resíduos do beneficiamento do café, como a palha (relação C:N = 56:1), pode ser usada com esse objetivo: contudo, nas entrelinhas do cafeeiro, para que não haja competição com o N exigido pela microbiota do solo para a decomposição desses resíduos – a aplicação na projeção da copa pode provocar déficit desse nutriente ao cafeeiro (Figura 5).

O uso de resíduos orgânicos carbonizados vem sendo resgatado e avaliado como alternativa para melhorar a qualidade do solo. Segundo Madari et al. (2006), a estrutura do biocarvão<sup>13</sup> apresenta alta porosidade e elevada área de superfície específica, fato que confere condições favoráveis para adsorção de compostos orgânicos solúveis, podendo contribuir com a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Segundo Cunha et al. (2009); Zhang et al. (2020), o biocarvão possui características recalcitrantes, responsáveis pela elevada resistência à degradação, sendo de grande importância para os solos tropicais, onde as condições climáticas favorecem a mineralização da matéria orgânica e a fração argila apresenta baixa atividade química.

---

<sup>13</sup> É o material gerado a partir da pirólise, que é a alteração térmica da biomassa em ambiente fechado, com suprimento limitado de oxigênio e em temperaturas relativamente baixas.



**Figura 5.** Palha de café: 8 meses sobreposta em terreiro de terra, Rive, Alegre, ES. Fonte: Arquivo Maurício Novaes (2022).

Nos biocarvões, as frações F1 e F2, mais lábeis, estão mais relacionadas à disponibilidade de nutrientes, a formação e a estabilização de macroagregados, as frações F3 e F4 estão relacionadas aos compostos de maior estabilidade química e peso molecular, comuns nas frações humificadas da matéria orgânica, com maior tempo de residência no solo (CHAN et al., 2001; LOSS et al., 2020).

### 3. Húmus

O processo de humificação representa a conversão da matéria orgânica recente em húmus, composto rico em materiais orgânicos de alto peso molecular, como os ácidos fúlvicos e húmicos, e a humina - são as frações da matéria orgânica com alto grau de estabilização (GARG; GUPTA; SATYA, 2006; PADILHA et al., 2014).

Embora a maior parte da matéria orgânica do solo possa estar relacionada às substâncias húmicas, apenas uma pequena parte dessas substâncias estaria de fato disponível prontamente para interagir com plantas e microrganismos do solo. Isto significa que a produção e o desenvolvimento vegetal não serão maiores necessariamente devido ao fato de um solo ter mais ácidos húmicos (AHs) do que outro, por exemplo. Os AHs não estão nos solos numa forma

isolada e purificada; portanto, não refletem a realidade da matéria orgânica em seu estado natural no solo (SCHMIDT et al., 2011).

A estabilidade do húmus tem grande influência sobre os estoques de carbono orgânico total (COT), uma vez que a decomposição desse material é mais lenta, e a sua presença juntamente com o aporte anual de resíduos vegetais ao solo contribuiu de forma significativa para o aumento dos estoques de COT (LIMA, 2014) (Figura 6).



**Figura 6.** Cafeeiro em SAF: elevado aporte de serapilheira (banana, pupunha, gliricídia e ingá) - Fazenda experimental da INCAPER em Pacotuba, Cachoeiro do Itapemirim, ES. Fonte: Arquivo Maurício Novaes (2019).

O húmus age como fertilizante natural: neutraliza a solução do solo, eleva a concentração de nutrientes e a resistência das plantas contra pragas e doenças. Outro fator é que seu uso reduz a utilização de adubos químicos, como também auxilia na mitigação dos aspectos e impactos ambientais causados pela disposição incorreta dos resíduos usados como substrato (DORES-SILVA; LANDGRAF; REZENDE, 2013). A utilização de práticas racionais de manejo, com a aplicação periódica de resíduos vegetais ao solo como fonte de matéria orgânica, práticas de cultivo mínimo ou plantio direto, pode levar acumular húmus no solo no médio e longo prazo.

#### 4. Compartimentos do carbono orgânico

O carbono lábil é composto por resíduos de plantas em decomposição, substâncias não-húmicas (aminoácidos, carboidratos, ligninas, lipídeos, ácidos nucleicos, entre outras), substâncias orgânicas solubilizadas em água, resíduos em decomposição da fauna e biomassa microbiana. Já entre os componentes mais estáveis, estão as substâncias húmicas (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas) e algumas macromoléculas que são mais resistentes à ação microbiana em razão da sua estrutura molecular (formas aromáticas) e da proteção física proporcionada pelos agregados do solo (BARROS, 2011; BHADURI et al., 2016).

A fração lábil do carbono tem como característica o fornecimento de nutrientes às plantas pela mineralização, além de energia e carbono aos microrganismos do solo (SILVA; MENDONÇA, 2007). A fração mais estável representa geralmente de 85 a 90% do COT e sua principal atuação é sobre os atributos físicos e químicos do solo. Geralmente é esta fração que determina a qualidade dos solos tropicais, que são altamente intemperizados e pobres em nutrientes disponíveis para as plantas (SALES et al., 2017). A substituição da mata nativa para sistemas de cultivo convencional altera a qualidade do solo, chegando a perdas de estoques de COT de 0,60 (0,00-0,20m profundidade) e 1,07 (0,20-0,40m) t ha<sup>-1</sup>, alterando frações da matéria orgânica, propriedades biológicas, químicas e físicas do solo, principalmente nas camadas mais superficiais (SÁ et al., 2014).

De acordo com Loss et al. (2014), as frações lábeis estão relacionadas à disponibilidade de nutrientes e à formação de macroagregados no solo. No entanto, frações mais estáveis (recalcitrantes) estão associadas aos compostos de maior massa molar, contribuindo para maior estabilidade dos microagregados do solo.

Como o húmus é um heterocondensado de substâncias fenólicas, possibilita a ativação dos processos de respiração, aumentando, conseqüentemente, o metabolismo e a absorção vegetal, em particular o fósforo, propiciando maior resistência e sanidade às plantas. Porém, quando em quantidades excessivas, a atividade respiratória é demasiadamente aumentada, consumido tudo o que havia sido fotossintetizado, estagnando o crescimento vegetal (PRIMAVESI, 2010).

A perda de MOS nos primeiros centímetros da superfície do solo pode interferir drasticamente nesses processos, dificultando o desempenho das funções do solo, provocando desequilíbrios no sistema e, conseqüentemente, desencadeando o processo de degradação. Essa MOS desempenha um importante papel na qualidade do solo e na dinâmica do carbono orgânico, representando a principal reserva deste elemento. Entretanto, algumas mudanças no uso e manejo podem alterar os atributos do solo e, conseqüentemente, os estoques de carbono das diferentes frações da MOS (ROSCOE, 2005).

O carbono orgânico influencia diretamente os atributos físicos do solo, principalmente sua estrutura, que está relacionada com a densidade, porosidade e a permeabilidade do solo, assim como com a resistência do solo à penetração das raízes (LETEY, 1985; SILVA et al., 2011).

O solo contém aproximadamente 2344 Gt (1 Gt = 1 giga tonelada = 1 bilhão de toneladas) de carbono orgânico globalmente, estimado em três a quatro vezes superior que o C atmosférico. Pequenas mudanças no estoque de carbono orgânico do solo podem resultar em impactos significativos na concentração de carbono atmosférico. Os fluxos de carbono orgânico do solo variam em resposta a uma série de fatores potenciais ambientais e antropogênicos. Entre estas funções, por exemplo, a MOS é a fonte primordial de carbono (C) (STOCKMANN et al., 2013).

A MOS, portanto, constitui a principal fonte de energia e nutrientes para a atividade microbiana. Processos como a “respiração microbiana do solo” ou a evolução de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), estão fortemente associados ao teor e à qualidade da MOS e, como consequência, a própria diversidade biológica estará refletindo, também, a qualidade da MOS (MAIA; PARRON, 2015).

Segundo Neves et al. (2006), a agregação de partículas do solo é uma das propriedades mais importantes na hora de avaliar sua qualidade, uma vez que a manutenção de sua estrutura facilita a aeração e a infiltração de água e reduz a erodibilidade. Além da agregação do solo ter influência sobre a infiltração de água, observam-se outros fatores: a biodiversidade, a dinâmica da biomassa do solo, a disponibilidade de oxigênio às raízes e a erosão do solo (DENEFF et al., 2001; FRANZLUEBBERS, 2002).

Em virtude de suas importantes funções nos processos físicos, químicos e biológicos no solo, a perda de MOS retroalimenta o processo de degradação. Promove a desorganização do sistema, resultando em menores produções de biomassa e maiores perdas de nutrientes, água e solo, favorecendo o desequilíbrio no sistema e, conseqüentemente, desencadeando o processo de degradação. Assim, o uso frequente do solo para agricultura tende a alterar os teores de carbono do solo (CARVALHO et al., 2010; MAIA et al., 2010).

As frações da MOS, especialmente as lábeis, respondem mais rapidamente às interferências antrópicas quando comparadas com os demais atributos do solo ou mesmo com o carbono orgânico total (COT), o que as torna excelentes indicadores de qualidade do solo (SALVO et al., 2010).

A associação das frações da MOS e das características do local pode auxiliar na formulação e na avaliação de modelos baseados em processos e na determinação dos efeitos do uso da terra e da mudança climática nos estoques de carbono (ZONG-MING et al., 2010).

Leite et al. (2015) analisaram o solo de uma área degradada em recuperação com pinhão-mansão e constataram que os baixos valores observados para o COT e suas frações lábeis ou estáveis, demonstraram o estado de degradação do solo, indicando, portanto, a necessidade de aumento na entrada de carbono por meio da inclusão de espécies com elevado aporte de resíduos. Nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m, os teores de carbono lábil (CL) variaram de 0,1 a 1,0 g kg<sup>-1</sup> e na camada de 0,10-0,20 m, de 0,1 a 0,9 g kg<sup>-1</sup>, representando apenas 10 e 6% do COT, para as primeiras duas camadas e 6% para a última, abaixo de outros resultados de carbono lábil CL/COT reportados na literatura em áreas sob manejo do solo conservacionista ou mesmo convencional (LEITE et al., 2010).

Desta forma, o aumento do tamanho desse compartimento é fundamental na recuperação de áreas degradadas: há uma associação direta com a melhoria da qualidade do solo decorrente do aumento no fornecimento de nutrientes e estabilidade de agregados do solo (CAMBARDELLA et al., 1994).

Esses mesmos autores ainda relatam que os valores observados para carbono nas substâncias húmicas foram muito baixos (menor que 1%), o que está associado diretamente ao processo de degradação observado na área e a na contribuição ainda insuficiente do pinhão-mansão em termos de aporte de

biomassa: muito provavelmente pelo pouco tempo de adoção, caso em que a inclusão de gramíneas pode favorecer a formação de agregados mais estáveis que se relacionam com o aumento do teor de carbono no solo, ocasionando, assim, uma reconstrução da matéria orgânica do solo.

A importância do conhecimento da MOS, bem como sua relação com o manejo e uso do solo, visa desenvolver estratégias para utilização sustentável dos solos, a fim de reduzir o impacto das atividades agropecuárias sobre o ambiente. Práticas conservacionistas de manejo têm recebido grande destaque nos anos recentes, basicamente no que se refere à manutenção e à melhoria dos atributos físicos e biológicos dos solos cultivados, e suas implicações quanto ao rendimento das culturas (ARGENTON et al., 2005).

Lima et al. (2008) explanam que geralmente sistemas conservacionistas promovem aumento no teor de carbono do solo e de suas frações, com reflexos positivos sobre os parâmetros biológicos. A incorporação de matéria orgânica (MO) em solos agricultáveis, proveniente de resíduos gerados no próprio empreendimento, diminui o *input* de CO<sub>2</sub> na atmosfera, além de auxiliar na retenção de umidade, dificultando assim o processo de erosão e fornecendo macro e micronutrientes às plantas (DORES-SILVA; LANDGRAF; REZENDE, 2013).

No desenvolvimento de uma cultura, existe uma variabilidade espacial e temporal da produtividade dentro da mesma área, principalmente em virtude da disponibilidade nutricional decorrente das propriedades físicas e químicas do solo. A incorporação de matéria orgânica pode reduzir essa variabilidade, regularizando a produção e aumentando a produtividade (Figura 7).

O uso de coberturas vegetais em sistemas agrícolas visa, dentre outros objetivos, melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (CUNHA et al., 2012). É de fundamental importância selecionar plantas de cobertura com grande potencial em produzir fitomassa e acumular, principalmente, carbono (C) e nitrogênio (N) (DONEDA et al., 2012).

Novos métodos para fornecer esses nutrientes vêm sendo pesquisados, como a aplicação de água residuária da suinocultura (GUIDINELLE, 2019). Segundo Cabral et al. (2011), a água residuária contém micronutrientes (Fe, Mg, Cu, Zn) e macronutrientes (N, P, K, Ca), que potencializam seu uso na irrigação de culturas agrícolas sendo, portanto, considerada um biofertilizante líquido.

Aproximadamente 67% do N, 33% do P e 100% do K encontrados na água residuária são prontamente absorvíveis pelas plantas por estarem na forma mineral (GOMES FILHO et al., 2001).



**Figura 7.** Aporte de serapilheira em cafeeiro cultivado em SAF: Fazenda experimental da INCAPER, Pacotuba, Cachoeiro do Itapemirim, ES. Fonte: Arquivo Maurício Novaes (2019).

## 5. Considerações finais

A visão conservacionista no âmbito do tripé da sustentabilidade busca encontrar soluções econômicas e práticas agrícolas que promovam aos produtores melhores condições de vida, segurança alimentar, preservação, conservação e recuperação de remanescentes florestais. O solo é um recurso natural não renovável de extrema importância para todos os seres vivos; portanto, precisa ser conservado. Vale ressaltar que a saúde do solo é também importante para a manutenção da biota que nele habitam e que contribuem com a funcionalidade e fertilidade do solo, melhorando a sua qualidade.

A MOS é um condicionador dos atributos biológicos, físicos e químicos do solo. A riqueza do solo em matéria orgânica aumenta a resistência da planta a doenças e pragas, contribui com a fertilidade e com a eficiência dos microrganismos na decomposição.

O manejo de práticas intensivas no setor agrícola deve ser substituído por outros que minimizem os impactos ambientais, primando a sustentabilidade dos ecossistemas naturais e dos agroecossistemas. O manejo adequado e a manutenção da qualidade constante do solo favorecem o aumento progressivo dos teores de matéria orgânica nos sistemas agropecuários, colaborando com sustento e fornecimento da fertilidade por meio da acumulação de nutrientes aportados no solo.

Diante do exposto, o problema da degradação e fragilidade do solo têm ganhado maior visibilidade e maior preocupação em níveis local, regional e global. Assim sendo, as instituições de ensino e pesquisa, a sociedade civil e as políticas públicas devem continuar promovendo medidas de precaução e avaliação dos estudos de impactos ambientais, que preconizam a recuperação, o manejo e a conservação dos ecossistemas, em especial dos solos, que são a base para a produtividade vegetal e manutenção das cadeias tróficas.

## 6. Agradecimentos

Ao professor Dr. Maurício Novaes Souza pela oportunidade, dedicação e correção do texto.

Aos docentes, pelas excelentes aulas e incentivo aos alunos a caminharem firmes para a concretização de seus objetivos.

Ao Programa de Pós-graduação em Agroecologia, por oportunizar a nossa percepção crítica dos problemas socioambientais e as suas possíveis soluções.

## 7. Referências

ANGELETTI, M. da P.; SOUZA, J. L. de; COSTA, H.; SOUZA, G. S. de; EWALD, M. C.; BREMEMKAMP, C.; MUNIZ, E. S.; BAHIENSE, D. V. Utilização de espécies vegetais como cobertura de solo no sistema plantio direto e como adubação verde na Região Serrana do ES. **Revista Científica Intelletto**, v. 1, n. 2, p. 87-102, 2016.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. do P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 425-435, 2005.

BARRETO, P.; SARTORI, M. **Levantamento de áreas agrícolas degradadas no estado do Espírito Santo**. CEDAGRO, 63 p. 2012.

BARROS, J. D. S. Contribuições da matéria orgânica do solo para mitigar as emissões agrícolas de gases de efeito estufa. **Polêmica**, v. 12, n. 2, 2013. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/polemica/article/view/6436/4844>. Acesso em: 21 ago. 2021.

BARROS, J. D. S. **Estoques de carbono em solos dos Tabuleiros Costeiros Paraibanos**: diferenças entre ambientes. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Campina Grande, CTRN/UFCG, 2011.

BHADURI, D.; SAHA, A.; DESAI, D.; MEENA, H. N. Restoration of carbon and microbial activity in salt-induced soil by application of peanut shell biochar during short-term incubation study. **Chemosphere**, n. 148, p. 86-98, 2016.

CABRAL, J. R.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; MUNIZ, A.S.; BERTONHA, A. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 823-831, 2011.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAM, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURVO, R. F.; KONOPA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of American Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; SILVA, C. A.; CURI, N.; FREITAS, D. A. F. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 9, p. 1028-1035, 2010.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 34, p. 277-289, 2010.

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

CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Degradação neutra de terra**: o que significa para o Brasil? Brasília, DF: 28 p. 2016.

CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; MARTINETO, L.; SANTOS, G. A. CARBONO PIROGÊNICO. In TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, E. N.; Woods, W. I. **As Terras pretas de índio da Amazônia**: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. 420 p.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 56-63, 2012.

DENEF, K.; SIX, J.; BOSSUYT, H.; FREY, S. D.; ELLIOTT, E. T.; MERCKX, R.; PAUSTIAN, K. Influence of dry wet cycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter, and microbial community dynamics. **Soil Biology Biochemistry**. Oxford, v. 33, p. 1599-1611, 2001.

DONEDA, A.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; MIOLA, E. C. C.; GIACOMINI, D. A.; SCHIRMANN, J.; GONZATTO, R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1714-1723, 2012.

DORES-SILVA, P. R.; LANDGRAF, M. D.; REZENDE, M. O. de. Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. **Química Nova**, v. 36, n. 5, p. 640-645, 2013.

FRANZLUEBBERS, A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil & Tillage Research**. Amsterdam, v. 66, p. 95-106, 2002.

GARG, P.; GUPTA, A.; SATYA, S. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: comparative study. **Bioresource Technology**, p. 391-395, 2006.

GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 693-704, 2015.

GOMES FILHO, R. R.; MATOS, A. T.; SILVA, D. D.; MARTINEZ, H. E. P. Remoção de carga orgânica e produtividade da aveia forrageira em cultivo hidropônico com águas residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 131-134, 2001.

GUIDINELLE, R. B. **Água residuária de suinocultura e sistema plantio direto no desenvolvimento do milho para produção de silagem**. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) - Instituto Federal do Espírito Santo, Alegre-ES, 2019.

GUIMARÃES, D. V.; GONZAGA, M. I. S.; MELO NETO, J. O.; REIS, A. F.; LIMA T. S.; SANTANA I. L. Qualidade da Matéria Orgânica do Solo e Estoques de Carbono e Nitrogênio em Fragmento de Mata Atlântica do Município de Neópolis, Sergipe. **Scientia Plena**, v. 8, n. 4, p. 5, 2012.

LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; GALVÃO, S. R. S.; LEMOS, J. O.; SILVA, E. F. L. Soil organic carbon and biological Indicator in an Acrisol under tillage systems and organic management in norte Eastern Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, v. 48, p. 258-265, 2010.

LEITE, L. F. C.; FERREIRA, J. S.; MARCOS, E. C. V.; FRANCISCO, E. P. M.; JUNIOR, A. F. R. Variabilidade espacial das frações da matéria orgânica do solo em área degradada sob recuperação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 394-401, 2015.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, v.1, p. 277-294, 1985.

LIMA, A. M. N.; SILVA, R. I.; NEVES, L. C. J.; NOVAIS, F. R.; BARROS, F. N.; MENDONÇA, E. Sá; DEMOLINARI, M. S. M.; LEITE, F. P. LIMA, A. M. M. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce, MGS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1053-1063, 2008.

LIMA, L. B. de. **Desempenho agrônômico da soja, fertilidade e dinâmica da matéria orgânica em solo sob aplicação de biochar no cerrado brasileiro**. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água) Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, 2014.

LIU, S.; KONG, F.; LI, Y.; JIANG, Z.; HIXIANG; XI, M.; WU, J. Mineral-ions modified biochars enhance the stability of soil aggregate and soil carbon sequestration in a coastal wetland soil. **Catena**, v. 193, p. 104-118, 2020.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e Produtividade Agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. N. V; BARROS, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. 1 ed. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007. p. 1-64.

LOSS, A; FERREIRA, G. W.; COMIN, J. J.; PEREIRA, M. G.; FREO, V. A.; PICCOLO, M. de C.; BRUNETTO, G.. Carbono orgânico total e oxidável em agregados de um argissolo adubado com dejetos suínos. **Ciencia del Suelo**, v. 38, n. 1, p. 12-20, 2020.

LOSS, A; PEREIRA, M. G.; COSTA, E. M.; BEUTLER, S. J. Soil fertility, physical and chemical organic matter fractions, natural <sup>13</sup>C and <sup>15</sup>N abundance in biogenic and physicogenic aggregates in areas under different land use systems. **Soil Research**, v. 52, p. 685-697, 2014.

MADARI, B. E.; COSTA, A. R.; CASTRO, L. M.; SANTOS, J. L.; BENITES, V. M.; ROCHA, A. O.; MACHADO, P. L. O. A. **Biocarvão no solo: aspectos agrônômicos e ambientais**. Goiânia, GO: Embrapa Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, Comunicado Técnico 125, 2006. 4 p.

MAIA, C. M. B. de F.; NOVOTNY, E. H.; RITTL, T. F.; HAYES, M. H. B. Soil Organic Chemical and Physical Characteristics and Analytical Methods. **A Review**. Current Organic Chemistry, Hilversum, v. 17, p. 2985-2990, 2013.

MAIA, C. M. B. F.; PARRON, L. M. Matéria orgânica como indicador da qualidade do solo e da prestação de serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.) **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015.

MAIA, S. M. F.; OGLE, S. M.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Changes in soil organic carbon storage under different agricultural management systems in the Southwest Amazon Region of Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 106, n. 2, p. 177-184, 2010.

MARCHETTI, A.; PICCINI, C. R.; FRANCAVIGLIA, R.; MABIT, L. Spatial Distribution of Soil Organic Matter Using Geostatistics: a key indicator to assess soil degradation status in central Italy. **Pedosphere**, v. 22, p. 230-242, 2012.

NEVES, C. S. V. J; FELLER, C; KOUAKOUA, E. Efeito do manejo do solo e da matéria orgânica em água quente na estabilidade de agregados de um Latossolo Argiloso. **Ciência Rural**, v. 36, n. 5, p.1410–1415, 2006.

OLIVEIRA, R. R. S; WATRIN, O. S.; VALENTE; M. A.; PIMENTEL, G. M. Análise da Vulnerabilidade natural dos solos à erosão como subsídio ao planejamento territorial em área da microbacia do igarapé Peripindeua, Nordeste Paraense. **Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR. p. 4783-4790, 2011.

OLIVEIRA, R. R. S.; VENTURIERI, A.; SAMPAIO, S. M. N.; LIMA, A. M. M.; ROCHA, E. J. P. Dinâmica de uso e cobertura da terra das regiões de integração do Araguaia e Tapajós/PA, para os anos de 2008 e 2010. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 7, p. 1411-1424, 2016.

PACHECO, L. P.; PETTER, F. A. Benefits of Cover Crops in Soybean Plantation in Brazilian Cerrados. In: TZI B. N. G. (Org.) **Soybean Applications and Technology**, 4 ed. Rijeka: InTech, 2011, p. 67-94.

PADILHA, K. M.; FREIRE, M. B. G. S.; DUDA, G. P.; SANTOS, U. J.; SILVA, A. O.; SOUZA, E. R. Indicadores biológicos de dois solos com a incorporação de subproduto da agroindústria de café. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, n. 38, p. 1377-1386, 2014.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015, 372 p.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. Editora Nobel, São Paulo, 2010, 549 p.

PULROLNIK, K. **O estoque de carbono no solo em floresta de eucalipto e ILPF.** 2013. Disponível em: <https://florestal.revistaopinioes.com.br/revista/detalhes/5-o-estoque-de-carbono-no-solo-em-floresta-de-euca/>. Acesso em: 10 abr. 2021.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1609-1623, 2007.

RITTL, T. F.; ARTS, B.; KUYPER, T. W.; Biochar: An emerging policy arrangement in Brazil. **Environmental Science & Policy**, v. 51, p. 45-55, 2015.  
 ROSCOE, R. Dinâmica da matéria orgânica em solos de Cerrado. **Anais... Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: Solos, sustentabilidade e qualidade ambiental.** Recife, UFRP, SBCS, 2005.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas:** modelagem matemática e métodos auxiliares. Embrapa Agropecuária Oeste: Dourados, p. 17-42, 2006.

SÁ, J. C. M.; TIVET, F.; LAL, R., BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. C.; SANTOS, J. Z.; SANTOS, J. B. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 136, n. 1, p. 38-50, 2014.

SALES, R. P.; PEGORARO, R. F.; PORTUGAL, A. F.; MOREIRA, J. A. A.; KONDO, M. K.; Organic matter fractions of an irrigated oxisol under no-till and conventional tillage in the Brazilian semi-arid region. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 2, p. 303-312, 2017.

SALVO, L.; HERNANDEZ, J.; ERNEST, O. Distribution of soil organic carbon in different size fractions, under pasture and crop rotations with conventional tillage and no-till systems. **Soil & Tillage Research**, v. 109, p. 116-122, 2010.

SCHMIDT, M. W.; TORN, M. S.; ABIVEN, S.; DITTMAR, T.; GUGGENBERGER, G.; JANSSENS, I. A.; KLEBER, M.; KOGEL-KNABNER, I.; LEHMANN, J.; MANNING, D. A. C.; NANNIPIERI, P.; RASSE, D. P.; WEINER, S.; TRUMBORE, S. E. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, v. 478, p. 49-56, 2011.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.) **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SILVA, D. A.; SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C. Aporte de fitomassa pelas sucessões de culturas e sua influência em atributos físicos do solo no sistema plantio direto. **Bragantina**, Campinas, v. 70, n. 1, p. 147-156, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/GBZ8xDRqcMBt4FJYsDFNWqK/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 20 jun. 2021.

SOUZA, M. N. **Degradação Antrópica e Procedimentos de Recuperação Ambiental**. Balti, Moldova, Europe: Novas Edições Acadêmicas, 2018, v. 1000. 376p.

SOUZA, M. N. Métodos para a identificação e avaliação de efeitos e impactos ambientais. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Vol. II. Canoas: Mérida Publishers Ltda. 2021. p. 37-115.

SOUZA, M. N. **Mudanças no uso do solo e da água e a gestão dos recursos naturais**. Frankfurt, Alemanha: Novas Edições Acadêmicas, 2015, v. 5000. 376 p.

STOCKMANN, U.; ADAMS, M. A.; CRAWFORD, J. W.; FIELDA, D. J.; HENAKAARCHCHIA, N.; JENKINSA, M.; MINASNYA, B.; MCBRATNEYA, A. B.; COURCELLESA, V. R. de; SINGH, K.; WHEELER, I.; ABBOTT, L.; ANGERS, D. A.; BALDOCK, J.; BIRD, M.; BOOKES, P. C.; CHENU, C.; JASTROW, J. D.; LAL, R.; LEHMANN, J.; O'DONNELL, A. G.; PARTON, W. J.; WHITEHEAD, D.; ZIMMERMANN, M. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 164, p. 80-99, 2013.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 609-618, 2005.

WANG, J.; XIONG, Z.; KUZYAKOV, Y. Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects. **GCB Bioenergy**, v. 8, p. 512-523, 2016.

ZHANG, X.; QU, J. S.; LI, H.; LA, S. K.; TIAN, Y. Q.; GAO, L. Biochar addition combined with daily fertigation improves overall soil quality and enhances water-fertilizer productivity of cucumber in alkaline soils of a semi-arid region. **Geoderma**, v. 363, p. 114-170, 2020.

ZANDONADI, D. B.; SANTOS, M. P.; MEDICI, L. O.; SILVA, J. Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 1, p. 14-20, 2014.

ZONG-MING, W.; BAI, Z.; KAI-SHAN, S.; DIAN-WEI, L.; CHUN-YING, R. Spatial variability of soil organic carbon under maize monoculture in the song-nen plain, Northeast China. **Pedosphere**, v. 20, p. 80-89, 2010.

## **Autores**

Maria Amélia Bonfante da Silva, José Carlos Lambert, Otacílio José Passos Rangel, Renato Ribeiro Passos, Aline Marchiori Crespo, Bruno Fazolo Repposi, Alex Justino Zacarias, Marcus Vinícius Campos Gall, Maurício Novaes Souza\*

Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500- 000, Alegre-ES, Brasil.

\* Autor para correspondência: [mauricios.novaes@ifes.edu.br](mailto:mauricios.novaes@ifes.edu.br)