

MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

Bases para
o seu Manejo
em Sistemas
de Produção
Vegetal

Natanael Santiago Pereira
Arlene Franklin Chaves
Thiago Leite de Alencar
Alexandre Reuber Almeida da Silva



edifce



INSTITUTO
FEDERAL
Ceará

Autores

Natanael Santiago Pereira

Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal do Ceará (2006), mestrado em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas) pela Universidade Federal do Ceará (2009) e doutorado em Manejo de Solo e Água pela Universidade Federal Rural do Semiárido (2017). Atualmente, é engenheiro-agrônomo do IFCE – Campus Limoeiro do Norte, onde lidera o grupo de Ensino, Pesquisa e Extensão do Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais. Desenvolve pesquisas em manejo de solo e água voltadas para o semiárido, principalmente.

Arlene Franklin Chaves

Professora do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – Campus Limoeiro do Norte. Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal do Ceará (2002), mestrado (2004) e doutorado (2017) em Ciência do Solo, pela mesma instituição. Atua principalmente nos temas: física do solo, química do solo, manejo de solo e água e fertilidade em agrossistemas.

Thiago Leite de Alencar

Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal do Ceará (2012), mestrado em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas) pela Universidade Federal do Ceará (2014) e doutorado em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Ceará (2017). Possui mais de sete anos de experiência em docência, tendo atuado como professor efetivo no Instituto Federal do Maranhão (IFMA), Instituto Federal do Piauí (IFPI) e atualmente na Universidade Regional do Cariri (URCA). Em suas pesquisas atua principalmente nos temas: física do solo; métodos de análises físicas de solos; manejo e conservação do solo e da água; e gênese e morfologia do solo.

Alexandre Reuber Almeida da Silva

Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – Campus Iguatu. Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal do Ceará – UFC (2002). Mestre e Doutor em Engenharia Agrícola pela mesma UFC. Especialista em Docência na Educação Profissional Técnica de Nível Médio pelo IFCE. Possui experiência na área de Agronomia, com ênfase em Engenharia Agrícola/Água e Solo.

MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

Bases para
o seu Manejo
em Sistemas
de Produção
Vegetal



Presidente da República

Luiz Inácio Lula da Silva

Ministro da Educação

Camilo Sobreira de Santana



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ - IFCE

Reitor

Jose Wally Mendonça Menezes

Pró-Reitora de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação

Joelia Marques de Carvalho

Pró-Reitora de Ensino

Cristiane Borges Braga

Pró-Reitora de Extensão

Ana Claudia Uchôa Araújo

Pró-Reitor de Administração e Planejamento

Reuber Saraiva de Santiago

Pró-Reitor de Gestão de Pessoas

Marcel Ribeiro Mendonça



EDITORA IFCE

Editor Executivo

Tiago Estevam Gonçalves

CONSELHEIROS NATOS

Ana Cláudia Uchoa Araújo

Cristiane Borges Braga

Joélia Marques de Carvalho

Sara Maria Peres de Morais

Tiago Estevam Gonçalves

CONSELHEIROS TITULARES

Alisandra Cavalcante Fernandes De Almeida

David Moreno Montenegro

Paula Patricia Barbosa Ventura

Josefranci Moraes De Farias Fonteles

Marcelio Costa Teixeira

Marieta Maria Martins Lauar

Barbara Suellen Ferreira Rodrigues

Sebastiao Junior Teixeira Vasconcelos

Nadia Ferreira De Andrade Esmeraldo

Auzuir Ripardo De Alexandria

Francisco Jose Alves De Aquino

Sandro Cesar Silveira Juca

Antonio Cavalcante De Almeida

Beatriz Helena Peixoto Brandao

Joao Eudes Portela De Sousa

Juliana Zani De Almeida

Glauber Carvalho Nobre

Rommulo Celly Lima Siqueira

Harine Matos Maciel

Maria Do Socorro De Assis Braun

Sarah Mesquita Lima

Jose Eranildo Teles Do Nascimento

Igor De Moraes Paim

Nara Lidia Mendes Alencar

Meire Celedonio Da Silva

Marilene Barbosa Pinheiro

Wendel Alves De Medeiros

Natanael Santiago Pereira
Arilene Franklin Chaves
Thiago Leite de Alencar
Alexandre Reuber Almeida da Silva

MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

Bases para
o seu Manejo
em Sistemas
de Produção
Vegetal

Fortaleza - CE
2025



Matéria orgânica do solo: bases para o seu manejo em sistemas de produção vegetal.

Autores: Natanael Santiago Pereira; Arilene Franklin Chaves; Thiago Leite de Alencar e Alexandre Reuber Almeida da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE
Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação – PRPI
Editora IFCE – EDIFCE

As informações contidas no livro são de inteira responsabilidade dos seus autores.

EDITORA IFCE

Editor Executivo

Tiago Estevam Gonçalves

Editora Adjunta e Normalização

Sara Maria Peres de Morais

Revisão

Francisco Diogenilson Almeida de Aquino

Diagramação e Capa

Editora Sertão Cult



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
Editora IFCE - EDIFCE

P436m Pereira, Natanael Santiago.
Matéria orgânica do solo: bases para o seu manejo em sistemas de produção vegetal. / Natanael Santiago Pereira, Arilene Franklin Chaves, Thiago Leite de Alencar e Alexandre Reuber Almeida da Silva.. --. Fortaleza: EDIFCE, 2025.

74 p. il.

E-book no formato PDF 4.110 KB
ISBN: 978-65-84792-45-6 (e-book)
DOI: 10.21439/EDIFCE.130

1. Agricultura. 2. Manejo do solo. 3. Sustentabilidade agrícola. I. Chaves, Arilene Franklin. II. Alencar, Thiago Leite de. III. Silva, Alexandre Reuber Almeida da. IV. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. V. EDIFCE. VI. Título.

CDD 631

Bibliotecária responsável: Sara Maria Peres de Morais CRB N° 3/901



Contato

Rua Jorge Dumar, 1703 - Jardim América. Fortaleza - CE. 60410-426. Fone: (85) 3401-2263
E-mail: edifce@ifce.edu.br/ Site: editora.ifce.edu.br

Sumário

Apresentação.....	7
-------------------	---

1

introdução

1.1 Composição e benefícios da MOS.....	11
1.2 Papel da MOS na manutenção da capacidade produtiva do solo.....	12
1.3 Considerações finais.....	14
Referências.....	14

2

Compartimentos da MOS

2.1 Sistema Solo.....	19
2.2 Compartimentalização da MOS.....	20
2.3 Propriedades das substâncias húmicas.....	23
2.4 Considerações finais.....	27
Referências.....	28

3

Efeitos da MOS sobre as propriedades do solo

3.1 Efeitos sobre o poder tampão do solo.....	34
3.2 Efeitos sobre a CTC do solo.....	34
3.3 Efeitos sobre a complexação de metais.....	35
3.4 Efeitos sobre a estrutura do solo.....	36
3.5 Efeitos na retenção de água no solo.....	38
3.6 Efeitos sobre os processos biológicos e biodisponibilidade de nutrientes.....	39
3.7 Considerações finais.....	40
Referências.....	41

4.1 Técnicas utilizadas para preservação da MOS.....	49
4.2 Adubação e uso de condicionadores do solo.....	50
4.3 Práticas de manejo de resíduos para estabilização da MOS.....	53
4.4 Considerações finais.....	58
Referências.....	59

5.1 Conceitos básicos.....	67
5.2 Estabilidade do sistema de produção agrícola.....	67
5.3 Considerações finais.....	70
Referências.....	71
Reflexões finais.....	73

Apresentação

A Matéria Orgânica do Solo (MOS) tem notável influência no comportamento dos solos, com benefícios às suas propriedades químicas, físicas e biológicas e, conseqüentemente, para os sistemas de produção vegetal, que dependem da qualidade do solo para o seu sucesso.

Há suficiente informação na literatura sobre as características e efeitos da MOS e ainda sobre o seu manejo, o que demanda um trabalho de sistematização desse conhecimento, a fim de que este possa ser transmitido e utilizado pelos técnicos e produtores da área agrícola.

Em vista disso, por meio do Grupo de Ensino, Pesquisa e Extensão do Laboratório de solos, água e tecidos vegetais do IFCE – Campus Limoeiro do Norte (GEPEX-LABSAT), criado em 2017, tem se primado pela orientação, viabilização e realização de ações de ensino, pesquisa e extensão junto aos produtores rurais e estudantes na área de Ciências Agrárias.

Este material foi elaborado pelos autores por meio de revisões realizadas para estudos e apresentações na área de Ciência do Solo, voltadas para a produção vegetal. Discorre-se, aqui, sobre os elementos básicos de manejo do solo para a conservação da MOS e o papel desta na qualidade do solo. Espera-se, com isso, esclarecer o papel da MOS no ambiente de produção agrícola e fornecer uma ideia geral sobre o estado do conhecimento a esse respeito.

Ao final de cada capítulo, são apresentadas as referências bibliográficas, que podem ser consultadas para aprofundamento teórico.

1

introdução

1

Introdução

A Matéria Orgânica do Solo (MOS) diz respeito à fração orgânica do solo, constituída de Carbono (C), Oxigênio (O), Hidrogênio (H) e nutrientes minerais na forma orgânica. Seus teores, nas condições originais do solo (vegetação natural), são resultado do equilíbrio natural entre as adições (pela biomassa vegetal e fauna) e as perdas por decomposição (Raij, 2011).

Geralmente, o C orgânico é determinado em laboratório por combustão quantitativa, determinando-se o C a partir do CO_2 ; e pelo método Walkley Black, baseado na redução do íon dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) pela matéria orgânica, avaliando-se o total de íon que não reagiu. A MOS é, então, estimada a partir do produto do C pelo fator convencional de Van Bemmlen (1,724). Esse fator é baseado na suposição de que o C corresponde a 58% da massa da MOS, mas alguns estudos sugerem a utilização de outros fatores de conversão (Fageria; Stone; Santos, 1999).

Com base no C, pode-se estimar o nitrogênio (N) total, supondo uma relação C/N da matéria orgânica estável, próxima de 10:1. A relação C/N dos resíduos adicionados ao solo é um dos fatores que influenciam a taxa de decomposição e, por conseguinte, o equilíbrio dinâmico da MOS. Por meio do conhecimento dos princípios que governam a dinâmica da MOS, são traçadas as estratégias para sua manutenção.

1.1 Composição e benefícios da MOS

A MOS é composta por frações mais lábeis e por compostos mais recalcitrantes (resistentes à decomposição), como as frações húmicas, cuja estrutura molecular contribui para sua maior persistência no solo (Vezzani; Mielniczuk, 2011). O húmus, por sua vez, é uma importante fração da MOS, favorecendo a retenção de nutrientes nas camadas

superficiais, dentro do alcance das raízes das plantas (Machado, 2001).

No *Manual Internacional de Fertilidade do Solo* (Lopes, 1998), podem ser encontradas menções a diversos benefícios da MOS, como a melhoria das condições físicas, o aumento da infiltração da água, a redução das perdas por erosão, a contribuição para o preparo do solo, o fornecimento de nutrientes e o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC). Ao mesmo tempo, o autor ressalta que a matéria orgânica não é indispensável à produção vegetal, sendo possível cultivar plantas, em escala comercial, usando-se apenas produtos químicos, como ocorre nos sistemas hidropônicos. No entanto, a MOS é essencial para os solos cultivados, devido ao seu papel na manutenção do potencial produtivo da agricultura, como será discutido adiante.

1.2 Papel da MOS na manutenção da capacidade produtiva do solo

Em sistemas intensivos de produção vegetal, isto é, naqueles sistemas agrícolas em que há uma demanda relativamente alta dos recursos solo, água e nutrientes, há maior pressão por retorno financeiro e, assim, intensificam-se as aplicações de fertilizantes, a fim de obter produções o mais próximo possível do máximo potencial biológico das culturas, o que eleva o risco de contaminação dos recursos hídricos e de erosão (com perda de C e nutrientes), contribuindo, conseqüentemente, para a perda da capacidade produtiva do solo (Merten; Minella, 2002).

Como a contribuição da MOS no suprimento de nutrientes é considerada relativamente baixa, ela é usualmente desconsiderada nas estimativas de balanço de nutrientes nos sistemas de produção vegetal, como assinalado por Oliveira *et al.* (2005), ao desenvolverem modelo de demanda de nutrientes para a cultura da bananeira. Isso ocorre porque não se pode depender do fornecimento de nutrientes exclusivamente pela decomposição da MOS, já que esta deve ser mantida em teores adequados, a fim de manter a capacidade produtiva do sistema, como será visto no decorrer deste material.

Outra razão para a não utilização do teor de MOS na estimativa de disponibilização de nutrientes em muitos sistemas de recomendação

ocorre porque nem sempre há uma relação clara entre seus teores e a disponibilização de nutrientes para as culturas. Segundo Rajj (2011), os teores de MOS não se mostraram bons indicadores na predição da disponibilidade de N em solos do estado de São Paulo. Já para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, a contribuição da MOS tem sido considerada nas recomendações de adubação nitrogenada para as culturas (CQFS-RS/SC, 2016).

Diversos estudos apontam que o potencial de produtividade nos trópicos é limitado pelos níveis de carbono (C) orgânico do solo. Os níveis críticos para os teores de MOS, para obtenção de produtividades adequadas, parecem depender das condições edafoclimáticas locais. Contudo, isso não deve ser generalizado, pois, em alguns casos, mesmo teores de carbono (C) orgânico do solo maiores que 2% podem não resultar em bons índices de produtividade. Isso ocorre pois a produtividade do solo é função de sua fertilidade natural juntamente com suas propriedades físicas e biológicas, além do clima, manejo, entre outros fatores (Moreira; Siqueira, 2006).

Salienta-se que são tantos os efeitos da MOS sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo que o conhecimento das práticas que afetam seus teores é essencial para a máxima eficiência produtiva das culturas no campo. Nesse sentido, práticas como o preparo do solo, a rotação de culturas, a adubação e o manejo de resíduos têm sido associadas aos fatores que controlam os níveis de MOS (Fageria; Stone; Santos, 1999).

A importância da manutenção da matéria orgânica tem sido cada vez mais ressaltada nos trabalhos, encontros científicos e por consultorias técnicas especializadas, devido às suas múltiplas funções, numa abordagem mais qualitativa. Isso não se opõe às informações científicas sobre as relações de essencialidade dos nutrientes minerais para as plantas e sua relação com a produção, mas acrescenta outra perspectiva: a da relação entre a qualidade do solo e o desenvolvimento sustentável.

É importante ressaltar que a manutenção de teores adequados de MOS é fundamental para assegurar a qualidade do solo e que nem sempre “tudo o que é orgânico é bom”, e ainda que, para evitar a degradação dos sistemas agrícolas, deve-se manejá-los para reduzir as

perdas sucessivas de C do solo (Moreira; Siqueira, 2006). A redução do C do solo pode ocorrer também em função das características do solo e do clima, sendo que as perdas são normalmente maiores em regiões tropicais e em solos de textura média e arenosa (Sá *et al.*, 2010). Desse modo, é interessante que se reúnam os conhecimentos teórico e prático sobre as melhores práticas de manejo para a conservação da MOS nos sistemas de produção vegetal.

Vezzani e Mielniczuk (2009) fizeram um estudo de revisão no qual discorrem sobre a linha de pensamento relacionando qualidade do solo e a sustentabilidade do sistema agrícola à MOS. Vezzani e Mielniczuk (2011) argumentam que a qualidade do solo está relacionada a altos níveis de complexidade, que permitem que o solo cumpra as suas funções naturais e, para atingir esses níveis, deve haver matéria e energia em quantidade suficiente, levando à formação de estruturas complexas e persistentes, sendo que este fluxo de energia e matéria está relacionado ao processo de formação de MOS.

1.3 Considerações finais

Trabalhos de pesquisa que buscam associar os níveis de complexidade do sistema agrícola à sua sustentabilidade apresentam uma forma de pensar a Matéria Orgânica do Solo (MOS) para além da relação quantitativa com a produção, considerando seu papel para a estabilidade do sistema solo-planta, contribuindo para a manutenção da capacidade produtiva do sistema.

Com a sistematização dessas e de outras informações sobre os sistemas de produção vegetal, pode-se obter uma compreensão mais clara sobre os benefícios da MOS e dos aspectos básicos para seu manejo.

Referências

CQFS-RS/SC. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2016. 376 p.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. dos. **Maximização da eficiência de produção das culturas**. Brasília: Embrapa-SCT/Embrapa-CNPAF, 1999. 294 p.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 177 p.

MACHADO, P. L. O. A. **Manejo da matéria orgânica de solos tropicais: abrangência e limitações**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2001. (Documentos, 24). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/338512/1/doc242001solostropicais.pdf>. Acesso em: 09 dez. 2022.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável**, v. 3, n. 4, p. 33-38, 2002.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. edição. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729 p.

OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; CANTARUTTI, R. B. Development of a fertilization recommendation system for banana plantations. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 131-143, 2005.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2011. 420 p.

SÁ, J. C. M.; SEGUY, L.; SÁ, M. F. M.; FERREIRA, A. O.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B.; CANALLI, L. Gestão da matéria orgânica e da fertilidade do solo visando sistemas sustentáveis de produção. *In*: PROCHNOW, L. I. (Org.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba, SP: International Plant Nutrition Institute – Brasil (IPNI), v. 1, p. 383-420, 2010.

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



2

compartimentos
da MOS

2

Compartimentos da MOS

2.1 Sistema Solo

O conhecimento sobre a qualidade do solo é importante para o direcionamento adequado das estratégias de manejo a serem utilizadas na exploração do solo por cultivos agrícolas. Esse tema tem se tornado cada vez mais relevante na área da Ciência do Solo, devido à preocupação com a proteção do solo e a sustentabilidade dos cultivos agrícolas.

Nesse contexto, a compreensão da Matéria Orgânica do Solo (MOS) tem sido mais frequente, uma vez que ela atua como agente cimentante entre as partículas, aumenta a capacidade de troca de cátions, disponibiliza mais nutrientes às plantas e serve como fonte de alimento para a biota do solo.

O sistema solo caracteriza-se por possuir atributos que se relacionam funcionalmente entre si e se comporta como um sistema aberto, coloidal e frágil. Aberto, pela constante interação com seu ambiente externo, recebendo *inputs* de energia, nutrientes e água, e também liberando *outputs* como gás carbônico (CO_2) e água, o que mantém o solo em equilíbrio dinâmico.

Coloidal, devido às suas propriedades físicas e químicas, por ser composto por partículas extremamente pequenas que possibilitam uma grande área de superfície por unidade de volume, o que confere ao solo capacidade de reter água e nutrientes, tornando-o um meio ideal para o crescimento das plantas.

Frágil, devido à sua natureza delicada e suscetível a alterações bruscas no uso da terra, como desmatamento, agricultura intensiva e compactação do solo, que resultam na ausência da matéria orgânica do solo, o que impacta negativamente a capacidade do solo de sustentar a vida vegetal e animal.

Nesse sentido, o manejo do solo pode ter um impacto significativo nos estoques, que se dividem em quatro compartimentos, dependendo do manejo adotado da MOS. Esses compartimentos são formados pela decomposição e incorporação de materiais orgânicos, como resíduos vegetais em variados estágios de decomposição, pela biomassa microbiana, raízes e pela fração mais estável, como as substâncias húmicas.

2.2 Compartimentalização da MOS

É importante saber que a dinâmica da Matéria Orgânica do Solo (MOS) está associada a essa compartimentalização da MOS, a qual é responsável por manter o equilíbrio do ecossistema do solo e garantir sua funcionalidade e sustentabilidade. A dinâmica mencionada refere-se à distribuição e organização dessa matéria dentro do solo em diferentes compartimentos ou frações e é frequentemente dividida nesses compartimentos com base em suas características físicas e químicas, o que a torna indicador-chave da qualidade do solo (Bettiol *et al.*, 2019).

Essa compartimentalização da MOS ocorre devido à sua decomposição e transformação promovidas por diversos organismos presentes no solo. Esses organismos, como bactérias, fungos, minhocas, entre outros, atuam no processo de decomposição da matéria orgânica, que é fragmentada em diferentes compartimentos (A, B, C e D) que apresentam diferentes taxas de decomposição e estabilização, contribuindo para a fertilidade física, química e biológica do solo.

Os compartimentos mais frescos compreendem os compartimentos A – Biomassa vegetal viva e B – Resíduos vegetais, raízes e exsudados, recentemente depositados por materiais orgânicos facilmente degradáveis, como folhas e restos de plantas, onde está presente a chamada matéria orgânica particulada (MOP), fração que inclui partículas orgânicas visíveis a olho nu e material orgânico em decomposição (Santos *et al.*, 2008).

As principais funções do compartimento A – Biomassa vegetal viva são a reciclagem de nutrientes, a proteção do solo contra erosão e a produção de fibras e alimentos. Este compartimento pode ser mane-

jado considerando os sistemas de cultura implantados, o nível de fertilidade do solo, a disponibilidade de água, bem como a temperatura e a radiação solar.

O compartimento B – Resíduos vegetais, raízes e exsudados destina-se à fonte de alimento para a biota do solo, proteção do solo contra erosão e incipiente fonte de nutrientes para as plantas. Pode ser manejado, observando o compartimento A, principalmente o tipo de resíduo, sua relação C/N, o grau de trituração e incorporação do resíduo, bem como a temperatura e a umidade.

Segundo Santos *et al.* (2008), o compartimento C – MOS não protegida pode ser dividido em lábil e biomassa microbiana, contendo a matéria orgânica dissolvida (MOD) e a matéria orgânica microbiana (MOM), respectivamente. A MOD consiste em substâncias orgânicas solúveis em água, como ácidos húmicos e fúlvicos, que desempenham um papel vital na complexação de nutrientes, tornando-os disponíveis para as plantas.

Essa MOD tem função no compartimento C – MOS não protegida/lábil, de disponibilizar fonte de energia aos microrganismos, promover agregação temporária, aumentar a CTC, e também ser fonte de nutrientes para as plantas, podendo ser manejada monitorando o grau de revolvimento do solo, a magnitude do compartimento A e B, além da temperatura e da umidade.

Quanto à MOM ligada ao compartimento C – MOS não protegida/biomassa microbiana, tem a função de decompor os resíduos, promover agregação temporária e atuar como fonte de nutrientes, podendo ser manejada monitorando o grau de revolvimento do solo, a magnitude do compartimento B, além da temperatura e da umidade em conjunto com o nível de fertilidade do solo, pois desempenha um papel central nos ciclos biogeoquímicos, na decomposição da matéria orgânica e na formação de agregados do solo, tendo como principais agentes as bactérias, fungos e actinomicetos.

O compartimento mais estável é o D – MOS protegida, que se divide em proteção estrutural e proteção coloidal. Esse compartimento contém materiais mais decompostos e humificados; por essa razão a matéria orgânica presente é denominada matéria orgânica humificada

(MOH), que apresenta substâncias orgânicas mais estáveis e complexas, resultantes da decomposição parcial da matéria orgânica. Os ácidos húmicos e fúlvicos fazem parte dessa fração, contribuindo para a formação de agregados do solo e para a melhoria de suas propriedades físicas.

Os dois compartimentos do D de proteção estrutural e coloidal possuem a função de promover agregação permanente e de elevar a CTC do solo. Quanto ao manejo, tanto a proteção estrutural quanto a coloidal são formadas a partir da magnitude dos compartimentos A, B e C, sendo que o grau de revolvimento do solo e a textura também contribuem para sua manutenção. Entretanto, observar a destruição dos agregados é fundamental para a proteção estrutural, e compreender como se dá a interação da mineralogia com a MOH é essencial para a proteção coloidal.

Pelo exposto, fica evidente que a evolução da MOS, envolvendo as transformações contínuas sob ação de fatores biológicos, químicos e físicos, ocorre desde a incorporação da matéria orgânica fresca até a formação de frações mais estáveis (huminas) e que a MOS possui natureza complexa devido à presença de carbono em sua estrutura molecular. Esse, por sua vez, tem a capacidade de formar longas cadeias de átomos, podendo se ligar a outros elementos, como H, O, N, entre outros. Essas ligações entre átomos de carbono e outros elementos dão origem a uma grande diversidade de compostos orgânicos (Stevenson, 1994).

Assim, a natureza complexa dos compostos orgânicos resulta da diversidade de ligações e arranjos possíveis entre os átomos de carbono e outros elementos, os quais dão origem a uma ampla variedade de substâncias com diferentes propriedades físico-químicas e funções biológicas. Acrescenta-se a esse fato as unidades estruturais dos tecidos vegetais com constituição elementar à base de carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S), que compõem proteínas, celulose, hemicelulose, amido, pectina, lignina e lipídios. Essa constituição elementar varia de acordo com sua estrutura molecular, cada qual com propriedades e funções específicas.

Nesse contexto, verifica-se que, nas macromoléculas orgânicas, há predominância expressiva dos carboidratos, em especial celulose e lig-

nina, seguidos dos compostos nitrogenados (aminoácidos e proteínas), além de outros constituintes menores que sofrem ações bioquímicas diversas, mediadas por microrganismos e por seus complexos enzimáticos. Essa relação é explicada pelos aportes vegetais que fornecem o “*Input*” primário para os processos que governam a dinâmica da MOS, enquanto a biomassa constitui o “*Input*” secundário para a atividade microbiana de transformação (Cotta, 2019).

As substâncias húmicas são constituídas por uma série de compostos escuros, de elevado peso molecular, separados com base em características de solubilidade, a saber: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, ácidos himatomelânicos e huminas. Essas características de solubilidade das substâncias húmicas desempenham um papel crucial na interação das plantas com os nutrientes do solo, na capacidade de reter água e nutrientes e na influência sobre a microbiota do solo, além de determinarem decisões de manejo fundamentais dentro da compartimentalização da matéria orgânica do solo. As substâncias húmicas são ácido húmico, ácido fúlvico, ácidos himatomelânicos e huminas.

2.3 Propriedades das substâncias húmicas

Devido à sua estrutura, essas substâncias possuem as seguintes propriedades principais (Sposito, 2004):

- a) polifuncionalidade, que consiste em amplo espectro de reatividade devido a um grande número de grupos funcionais;
- b) carga molecular negativa, a qual permite uma maior reatividade com outras moléculas;
- c) flexibilidade estrutural, a qual é a capacidade de associação entre moléculas e mudança de sua conformação em função do pH, dos valores redox, da concentração eletrolítica e da ligação com grupos funcionais;
- d) hidrofiliçidade, que diz respeito à tendência em formar fortes pontes de hidrogênio com a água.

Os ácidos húmicos formam a maior fração das substâncias húmicas. São precipitados escuros, de menor solubilidade em água, sendo mais solúveis em meios alcalinos e insolúveis em meio ácido diluído,

porém solúveis em solventes orgânicos e ácidos minerais. Possuem alto peso molecular, capacidade de troca de cátions originária da lignina, entre 350 e 500 cmolc kg⁻¹, altos teores de ácidos carboxílicos e consideráveis quantidades de nitrogênio (Tan, 1993). Podem ainda ser separados em ácidos húmicos castanhos, que não precipitam em meio alcalino em presença de um eletrodo que geralmente é uma solução salina, e ácidos húmicos cinzentos, nos quais ocorre precipitação em presença de um eletrodo.

Os ácidos fúlvicos são uma fração colorida, solúveis em água e em soluções ácidas e alcalinas. Embora possuam similaridade estrutural aos ácidos húmicos, apresentam menor peso molecular, maiores quantidades de compostos fenólicos e de grupos carboxílicos e menores de quantidades de estruturas aromáticas, o que lhes confere melhor solubilidade em água e maior capacidade de troca catiônica (700 a 1000 cmolc kg⁻¹) (Santos *et al.*, 2008).

Os ácidos himatomelânicos possuem características intermediárias entre os ácidos húmicos e fúlvicos em relação à solubilidade, formando suspensões ou soluções coloidais quando misturados à água e sendo solúveis em meio neutro e em álcool dos ácidos húmicos. Têm menor peso molecular do que os ácidos húmicos, mas com composição elementar semelhante.

As huminas compõem um resíduo extraível e correspondem à fração menos humificada das substâncias húmicas. São materiais complexos, quimicamente heterogêneos, inativos, insolúveis em soluções ácidas e alcalinas. São compostos de alta massa molecular, insolúveis em água e em geral solúveis apenas em solventes orgânicos. São compostos mais estáveis e menos solúveis do que os ácidos húmicos e fúlvicos.

Entre as substâncias húmicas, os ácidos húmicos e fúlvicos são os mais estudados e mais importantes das frações húmicas, com relação à reatividade e ocorrência nos ecossistemas. Os ácidos húmicos possuem um conteúdo maior de C e menor de O, gerando massa maior comparada à dos ácidos fúlvicos, possuem um grau de polimerização maior, o que torna possível um estágio mais avançado de humificação. Entretanto, os ácidos fúlvicos apresentam um maior número de grupos funcionais por unidade de massa em relação aos ácidos húmicos, possuem maior acidez total, o que faz com que eles, quando da sua

dissociação, apresentem maior capacidade de troca de cátions (CTC) (1.120 cmolc kg⁻¹) contra 670 e 200 cmolc kg⁻¹ dos ácidos húmicos e das argilas silicatadas 2:1, respectivamente (Santos *et al.*, 2008).

Os ácidos húmicos e fúlvicos, apesar de apresentarem diferenças em termos de peso molecular e capacidade de troca iônica, proporcionam benefícios semelhantes às culturas. Embora haja necessidade de mais estudos sobre a funcionalidade e especificidade dos efeitos que cada substância húmica exerce nas espécies vegetais de interesse econômico, sabe-se que as substâncias húmicas influenciam diretamente a estrutura física, química e microbiológica dos ambientes em que estão presentes, assim como afetam o metabolismo e o crescimento das plantas (Canellas *et al.*, 2005).

As propriedades químicas, físicas e microbiológicas dessas substâncias contribuem para o aumento na produtividade como resultado dos benefícios que promovem para o solo e para o metabolismo das plantas. As influências na estrutura física ocorrem devido à sua alta capacidade de troca catiônica, promovendo a formação de agregados estáveis, com maior retenção de água, melhoria da aeração e, por consequência, maior resistência à erosão devido às suas partículas coloidais, que são capazes de formar uma emulsão em contato com a água (Kiehl, 1985).

As melhorias químicas decorrem de seu efeito no aumento do poder tampão dos solos, reduzindo as variações de pH do meio. Além disso, atuam como agentes complexantes, reduzindo os íons metálicos na solução do solo e, com isso, levam à redução da toxidez desses elementos. Ainda sobre a complexação, promove o incremento de fósforo solúvel através da complexação de Fe⁺² e Al⁺³ em solos ácidos e do Ca⁺² em solos alcalinos e, por consequência, promovem melhoria na agregação do solo e, assim, redução da densidade, maior capacidade de retenção de água, estabilidade no pH, aumento da CTC e da matéria orgânica, menor perda de nutrientes potenciais e redução na perda de nitrato (Sasal *et al.*, 2000; Tejada *et al.*, 2008; Beauclair *et al.*, 2010; González *et al.*, 2010).

No metabolismo das plantas, devido à sua elevada capacidade de troca catiônica, essas substâncias possuem a propriedade de complexação e, assim, levam ao aumento do movimento e da absorção de íons, da respiração e da velocidade das reações enzimáticas do ciclo

de Krebs, resultando em alta produção de ATP nas células radiculares e aumento nos níveis de clorofila e síntese de ácidos nucleicos. Dessa forma, as substâncias húmicas atuam em uma rede complexa na planta, acelerando o metabolismo, essencial para ativação de vários processos nas plantas, como na síntese de hormônios e no crescimento (Trevisan *et al.*, 2010).

De acordo com Vaughan *et al.* (1985), as substâncias húmicas podem influenciar processos de formação de proteínas, com aumento de síntese das enzimas invertase e peroxidase, todavia, sem interferir na síntese de fosfatase e na incorporação de aminoácidos em proteínas, atuando, assim, na formação de um novo RNA.

Pelo exposto, fica claro que as substâncias húmicas têm a capacidade de se ligar a nutrientes como fósforo, potássio e cálcio, entre outros, prevenindo sua lixiviação, tornando-os mais disponíveis para as plantas, o que facilita a absorção de nutrientes e promove uma nutrição mais eficiente e saudável. Além disso, devido as substâncias húmicas formarem complexos estáveis com a água, aumentam a capacidade de retenção de água no solo e garantem um fornecimento constante de água às plantas, mesmo em períodos de escassez de água e por fim, mas não menos importante as substâncias húmicas podem influenciar a microbiota do solo de várias maneiras, a saber: servir como fonte de alimento para os microrganismos do solo; promover atividade e crescimento da microbiota do solo; influenciar a composição e a diversidade da microbiota do solo; promover a presença de microrganismos benéficos para as plantas, como micorrizas e bactérias fixadoras de nitrogênio.

Esta afirmação se deve a alguns fatores que influenciam a qualidade do solo mencionada, bem como o estoque de MOS o qual está intimamente ligado à sustentabilidade dos ecossistemas, a saber: uso eficiente dos recursos naturais (clima, tipo de solo, a vegetação, a prática de manejo agrícola, a rotação de culturas e o uso de fertilizantes, adoção de práticas de manejo sustentável como adição de matéria orgânica ao solo, plantio direto, rotação de culturas e a redução do uso de agrotóxicos); avaliar o impacto do sistema agrícola no meio ambiente, como a emissão de gases de efeito estufa, poluição da água, degradação do solo e perda de biodiversidade fatores intimamente dependente da manutenção da MOS; analisar o impacto do sistema agrícola nas

comunidades locais, considerando aspectos como acesso a alimentos saudáveis, segurança alimentar e bem-estar das populações rurais e urbanas; avaliar a capacidade do sistema agrícola de resistir a eventos extremos, como secas e inundações, e de se adaptar às mudanças climáticas e verificar se o sistema agrícola é economicamente viável, considerando os custos de produção, os preços de mercado e a geração de renda para os agricultores (Vezzani; Mielniczuk, 2009).

Dessa forma, a compreensão da distribuição desses compartimentos e de como manejá-los é essencial para avaliar a qualidade da matéria orgânica do solo e seus efeitos sobre a fertilidade e a saúde do mesmo, apesar de termos o entendimento que a avaliação da sustentabilidade de um sistema agrícola pode ser feita por meio de diversos indicadores e critérios. Entretanto, a MOS é provavelmente, o melhor atributo que reflete a qualidade do solo tendo em vista que é um dado essencial para tomada de decisão em campo, principalmente em solos sob condições tropicais.

2.4 Considerações finais

Atualmente, é crescente o uso de substâncias húmicas com o intuito de explorá-las comercialmente em produtos, visando minimizar os impactos causados pelas práticas agrícolas, entre elas o manejo intensivo do solo, a erosão, as aplicações excessivas de agroquímicos, a fertilização mineral pesada, que alteram e degradam as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Assim, os produtos de origem orgânica são considerados uma opção mais sustentável para o sistema de produção agrícola, visando à manutenção da qualidade do solo e à promoção do crescimento das plantas.

Entretanto, manejar a matéria orgânica do solo, *in situ*, com a construção da fertilidade do solo nas áreas produtivas, é fundamental para garantir a sustentabilidade e a produtividade a longo prazo, independentemente de produtos comerciais. Contudo, como o tema é complexo e abrangente, muito se tem ainda que aprofundar sobre a matéria orgânica do solo.

Referências

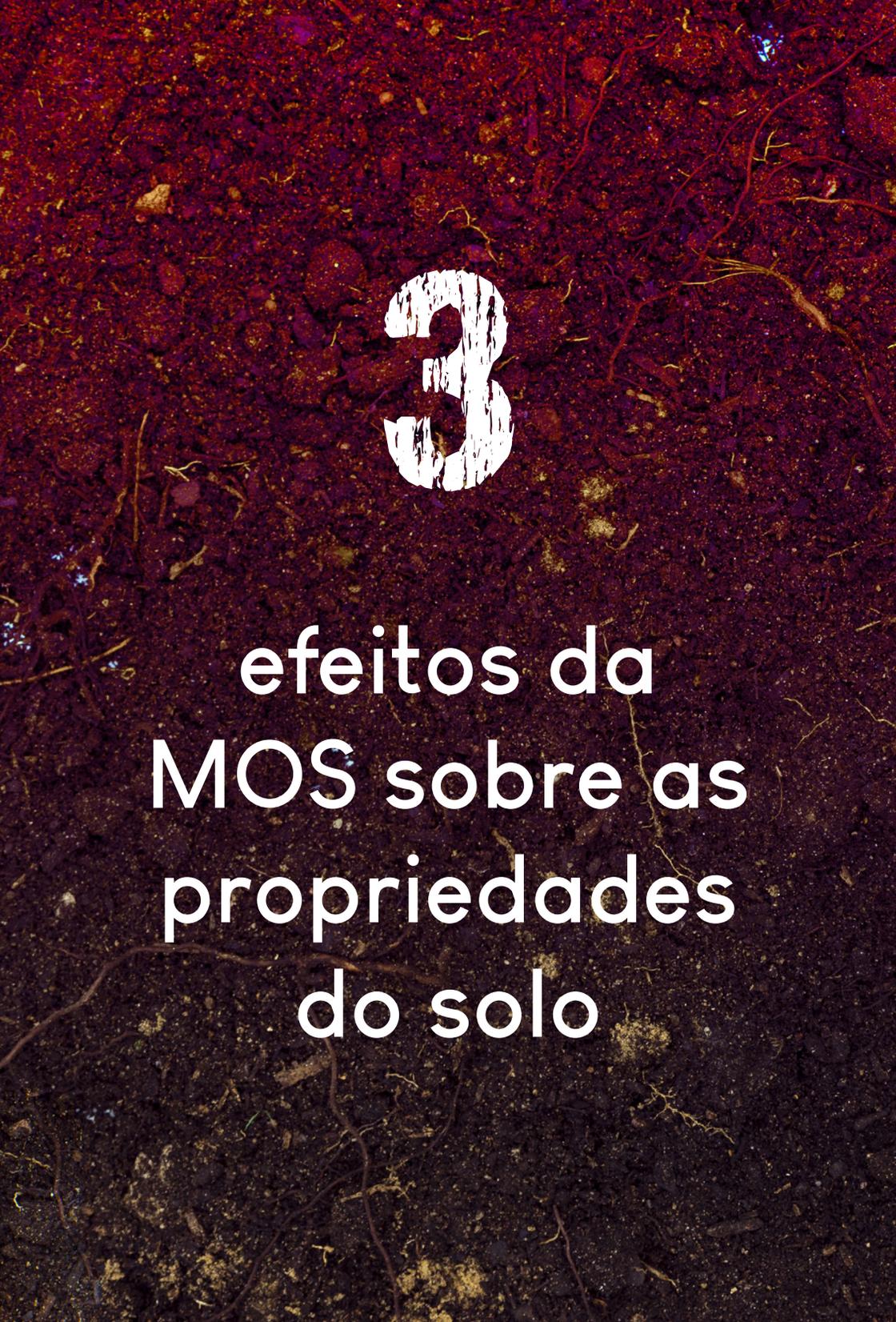
- BEAUCLAIR, E. G. F.; GULLO, M. J. M.; TOMAZ, H. V. Q.; SCARPARI, M. S.; OTAVIANO, J. A. Uso de condicionador de solo a base de ácido húmico na cultura da cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 28, p. 42-45, 2010.
- BETTIOL, W.; SILVA, C. A.; CERRI, C. E. P.; NETO, L. M.; ANDRADE, C. A. **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical/** Wagner Bettiol ... [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2023. PDF (788 p.): il. color.
- CANELLAS, L. P.; ZANDONADI, D. B.; MÉDICI, L. O.; PERES, L. E. P.; OLIVARES, F. L.; FAÇANHA, A. R. Bioatividade de substâncias húmicas: ação sobre desenvolvimento e metabolismo das plantas. *In*: CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. (Eds.). **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Campos dos Goytacazes: CCTA, UENF, p. 224-243, 2005.
- COTTA, S. R. O solo como ambiente para a vida microbiana. *In*: CARDOSO, E. J. B.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**, 2. ed. Piracicaba: ESALQ, 2016. 221 p.
- GONZÁLEZ, M.; GOMEZ, E.; COMESE, R.; QUESADA, M.; CONTI, M. Influence of organic amendments on soil quality potential indicators in an urban horticultural system. **Bioresource Technology**, New York, v.101, p. 8897-8901, 2010.
- KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.
- SASAL, C.; ANDRIULO, A.; ULLÉ, J.; ABREGO, F.; BUENO, M. Efecto de diferentes enmiendas sobre algunas propiedades edáficas, en sistemas de producción hortícola del centro norte de la región pampeana. **Ciencia del Suelo**, Buenos Aires, v. 18, p. 95-104, 2000.
- SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (editores.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2. ed. rev. e atual. – Porto Alegre: Metrópole, 2008. 654 p.: il.
- SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 2004. 277p.
- STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: John Wiley, 1994. 512 p.
- TAN, K. H. **Principles of soil chemistry**. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 1993. 362 p.

TEJADA, M.; GONZÁLEZ, J. L.; GARCÍA-MARTÍNEZ, A. M.; PARRADO, J. Application of a green manure and green manure composted with beet vinasse on soil restoration: effects on soil properties. **Bioresource Technology**, New York, v. 99, p. 4949–4957, 2008.

TREVISAN, S.; PIZZEGUELLO, D.; REPERTI, B.; FRANCIOSO, O.; SASSI, A.; PALME, K.; QUAGGIOTTI, S.; NARDI, S. Humic substances induce lateral root formation and expression of the early auxin-responsive IAA 19 gene and DR5 synthetic element in Arabidopsis. **Plant Biology**, Berlin, v. 12, p. 604–614, 2010.

VAUGHAN, D.; MALCOM, R.E.; ORD, B.G. Influence of humic substances on biochemical processes in plants. *In*: VAUGHAN, D. **Soil Organic Matter and Biological Activity**. Dordrecht: Martinus Nijhoff; Dr W Junk, p. 77–108, 1985.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743– 755, 2009.



3

efeitos da
MOS sobre as
propriedades
do solo

3

Efeitos da MOS sobre as propriedades do solo

Em solos minerais, a proporção da Matéria Orgânica do Solo (MOS) em relação à massa total do solo é relativamente baixa. No geral, em torno de 2% m/m ou 5% em relação ao volume (Brady; Weil, 2013). Mesmo nessas proporções, a MOS tem considerável efeito sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Silva; Mendonça, 2007), desempenhando um papel importante na qualidade do solo e na manutenção do seu potencial produtivo no longo prazo.

A Figura 1 representa, de forma didática e simplificada, quais propriedades do solo são influenciadas diretamente pela presença da MOS.

Figura 1 - Conexões da matéria orgânica (MOS) com as propriedades do solo



Fonte: Elaborado por Thiago Leite de Alencar.

3.1 Efeitos sobre o poder tampão do solo

O poder tampão está relacionado à capacidade de resistência que um solo apresenta às alterações bruscas nos valores de potencial hidrogeniônico (pH) (Ronquim, 2010). De acordo com Escosteguy e Bissani (1999), o poder tampão apresenta variações em função dos diferentes tipos de solo, das classes texturais existentes, do tipo e da quantidade de minerais da fração argila, bem como da quantidade de material orgânico presente. Nesse contexto, Carmo e Silva (2013) obtiveram resultados que demonstram a grande influência da matéria orgânica no poder tampão do solo. De acordo com Paes *et al.* (1996), a MOS resulta em maior poder tampão, mantendo, assim, um pH equilibrado e maior resistência às variações do ambiente.

O incremento de materiais orgânicos nos solos localizados em zonas tropicais é de fundamental importância, uma vez que estes apresentam um poder tampão reduzido e, conseqüentemente, a adição de fertilizantes pode ocasionar um desequilíbrio. Assim, a manutenção de um nível adequado de matéria orgânica no solo é essencial para evitar problemas relacionados a desequilíbrios minerais ocasionados por adubações (Ronquim, 2010).

3.2 Efeitos sobre a CTC do solo

De acordo com Bortoluzzi *et al.* (2009), a capacidade de troca de cátions (CTC) é uma propriedade físico-química inerente aos constituintes orgânicos e minerais encontrados nos diferentes solos. Desse modo, a MOS influencia positivamente a CTC, implicando maior capacidade de reter cátions e, assim, maior potencial de reposição de nutrientes à solução do solo para a absorção pelas plantas. Enquanto os minerais de argila possuem CTC variando entre 100 e 1500 mmolc dm⁻³, a CTC da matéria orgânica pode variar entre 2000 e 4000 mmolc dm⁻³ e, assim, a MOS influencia em muito a CTC do solo, principalmente naqueles com a CTC naturalmente mais baixa, como os arenosos e os muito intemperizados (Lopes, 1998).

Nesse contexto de influência da matéria orgânica do solo nas propriedades químicas, Dobbs *et al.* (2008) verificaram a redução da CTC

e do poder tampão após a remoção de substâncias húmicas em sete Latossolos brasileiros. De acordo com Ciotta *et al.* (2003), a MOS, mesmo em baixa magnitude, tem importância significativa na CTC do solo, promovendo aumento expressivo em seus valores, o que é de fundamental importância para solos com predominância de minerais de baixa atividade na fração argila.

3.3 Efeitos sobre a complexação de metais

Os solos podem apresentar elementos químicos, denominados metais, que, em baixas concentrações, podem se tornar uma fonte potencial de poluição do meio ambiente (Martins *et al.*, 2011). O grau de disponibilidade desses metais é determinado pelos atributos químicos, físicos e mineralógicos do solo, a saber: capacidade de troca catiônica, pH do solo, teor e tipo de argila, e conteúdo de matéria orgânica (Freitas *et al.*, 2010). Tais atributos têm influência nas reações de adsorção/dessorção, precipitação/dissolução, oxirredução e na complexação dos metais no solo.

Nesse cenário, temos que a matéria orgânica tem um papel importante na complexação dos metais sendo, portanto, um elemento-chave na qualidade dos sistemas agrícolas. Vale salientar que, na complexação de metais por substâncias húmicas, a interação metal-ligante ocorre por reações de sorção entre o metal e os ácidos orgânicos com baixo peso molecular. Isso se deve por uma íntima associação em nível molecular entre os dois componentes (Jeong; Young; Marshall, 2007; Martins *et al.*, 2011). Segundo Bettiol *et al.* (2023), a ordem de afinidade dos cátions pelos sítios de carga negativa na MOS depende de alguns fatores específicos, a saber: grau de polarização do cátion, número de coordenação e eletronegatividade.

As reações de complexação da MOS com metais têm importância no aumento da solubilidade e transporte desses metais dentro do perfil do solo, uma vez que são formados complexos solúveis, o que proporciona, de forma prática, uma atenuação da toxidez de metais pesados (Bettiol *et al.*, 2023).

De acordo com Silva e Mendonça (2007), sistemas de cultivo que proporcionam o acúmulo de C no solo promovem a redução do Al^{3+} tóxico, devido à sua complexação. Os autores acrescentam que há formação de complexos organometálicos com micronutrientes, com diferentes níveis de solubilidade e mobilidade no solo, podendo reduzir temporariamente a sua disponibilidade (quando os teores de MOS são muito elevados); contudo, estes retornam à solução do solo, após a decomposição da matéria orgânica (Dechen; Nachitgall, 2006; Cavalcante *et al.*, 2012). Esses efeitos da MOS também têm se mostrado importantes na redução da lixiviação e/ou toxicidade de poluentes (Campos, 2010).

3.4 Efeitos sobre a estrutura do solo

A matéria orgânica tem papel fundamental na qualidade física dos solos, uma vez que atua em diversas propriedades, a saber: porosidade do solo, retenção de água, resistência à compactação e formação de agregados, por ser um agente floculante e cimentante (Zhang; Hartge; Ringe, 1997; Barral *et al.*, 1998; Vidal-Beaudet; Charpentier, 2000; Brancalhão; Moraes, 2008).

O processo de agregação no solo é dinâmico, sendo necessário o acréscimo de material orgânico para a manutenção da estrutura adequada e, como consequência, o pleno desenvolvimento das culturas agrícolas (Cunha *et al.*, 2011). Vale destacar que a agregação é um fenômeno que acontece basicamente em duas etapas distintas: a primeira, relacionada à aproximação das partículas do solo; e a segunda, com a sua estabilização ocasionada por agentes cimentantes (Kiehl, 1979; Baver *et al.*, 1973).

Nesse contexto, a matéria orgânica proporciona a agregação das partículas minerais, melhorando a qualidade da estrutura do solo, que, por sua vez, é protegida fisicamente, sendo estabilizada (Silva; Mendonça, 2007). Esse condicionamento da estrutura do solo tem efeito no tamanho e estabilidade dos agregados, interferindo (positivamente) no equilíbrio de ar e água nos poros do solo, no provimento de nutrientes e na penetração das raízes, sendo, assim, essencial para a obtenção de produtividades elevadas (Schimiguel *et al.*, 2014).

A quantidade de matéria orgânica presente no solo permite maior ou menor agregação, influenciando, por exemplo, a taxa de perda de solo, ocasionada por uma maior resistência aos processos de desagregação e dispersão (Castro Filho; Logan, 1991).

A estrutura do solo é afetada diretamente pelo processo de compactação, uma vez que este ocasiona a reorganização das partículas e de seus agregados, reduzindo a taxa de infiltração da água no solo, aumentando consideravelmente o escoamento superficial e limitando o desenvolvimento do sistema radicular das culturas agrícolas (Modolo *et al.*, 2008; Luciano *et al.*, 2012). Nesse cenário, a agregação do solo proporcionada pela matéria orgânica torna-se um fator preponderante para o comportamento do solo frente aos estresses aplicados pelas atividades antrópicas (Bettiol *et al.*, 2023).

A densidade do solo é uma propriedade física, relacionada à estrutura do solo, medida pela razão entre a massa de sólidos e o volume do solo (Bettiol *et al.*, 2023). Portanto, a densidade é afetada pelo teor de matéria orgânica, que apresenta efeitos na agregação, aumentando o número de macroporos e, assim, reduzindo o valor da densidade (Gomes *et al.*, 2015). A MOS possui a capacidade de atuar na floculação das partículas, expandindo o espaço poroso e evitando o processo de compactação (Arruda; Dalbem; Souza, 2021). Vale destacar também que a matéria orgânica apresenta menores valores de densidade de suas partículas ao se comparar com a fração mineral do solo (Brida *et al.*, 2006).

A resistência à penetração é um indicador de impedimento mecânico que o solo oferece ao desenvolvimento do sistema radicular das culturas agrícolas (Silva *et al.*, 2008). Tal indicador depende de algumas variáveis, a saber: matéria orgânica, densidade do solo e umidade (Bettiol *et al.*, 2023). De acordo com Negis *et al.* (2019), a adição de matéria orgânica ao solo resulta em uma redução na resistência à penetração, o que melhora o preparo do solo, reduz o processo de compactação e proporciona um sistema de produção agrícola mais adequado.

Diante do exposto, ficou evidente que a manutenção da matéria orgânica no solo é desejável, uma vez que propicia múltiplos efeitos benéficos sobre o estado de nutrientes no solo, sua estrutura e capacidade de retenção de água (Von Lutzow *et al.*, 2002).

3.5 Efeitos na retenção de água no solo

O volume de água retida em um solo é resultado da ação conjunta e complexa de vários fatores, sendo influenciado por mineralogia da fração argila, do teor de matéria orgânica, das diferenças da microestrutura e compactação (Klein; Klein, 2015; Klute; Dirksen, 1986; Reichardt, 1987). Assim, o aumento da retenção de água é outro benefício importante da MOS para o solo cultivado, principalmente para regiões áridas, suscetíveis ao déficit hídrico, e em solos de textura mais arenosa, afetando, principalmente, o teor próximo à capacidade de campo, como resultado de seu efeito na estruturação do solo (Silva; Mendonça, 2007).

A adição regular de elevadas quantidades de materiais orgânicos tem sido uma estratégia muito utilizada como forma de melhorar a disponibilidade hídrica dos solos, uma vez que ela atua aumentando o espaço poroso, a retenção de água, a agregação e a coesão entre as partículas, além de proporcionar um aumento no processo de infiltração da água no solo (Santos; Pereira, 2013; Klein; Klein, 2015). É importante destacar também que a MOS tem a capacidade de reter massa de água superior à sua própria massa, esse fato possibilita que pequenos incrementos de MOS proporcionem ganhos significativos na quantidade de água disponível para as culturas agrícolas e uma maior tolerância a escassez hídrica (Bettiol *et al.*, 2023).

Alguns estudos constataram uma associação positiva entre os teores de carbono orgânico do solo e o conteúdo de água residual (Olness; Archier, 2005; Machado *et al.*, 2008). Os autores atribuíram esse fato à alta superfície específica da matéria orgânica, demonstrando, assim, sua importância para a retenção de água em solos cultivados.

Segundo Klein e Klein (2015), a utilização de materiais orgânicos (esterco e resíduo de celulose) na superfície do solo possibilita uma retenção de água por períodos mais prolongados. Os materiais adicionados à superfície do solo proporcionam isolamento, de modo que a incidência direta dos raios solares é reduzida e a temperatura no interior do solo é amenizada (Costa *et al.*, 2006). Esses aspectos reduzem substancialmente o processo de evaporação da água presente nos poros do solo, mantendo sua umidade por um período relativamente maior.

Nesse contexto, Alencar *et al.* (2015) informam que a aplicação de matéria orgânica na forma de biofertilizante melhora a qualidade física do solo, particularmente no tocante à retenção de água, isso se deve ao aumento da microporosidade. No entanto, segundo os autores, é necessário que se faça um monitoramento periódico da porosidade de solos que recebem a aplicação de biofertilizante, pois existe a possibilidade da redução do tamanho dos poros maiores e a obstrução de microporos.

3.6 Efeitos sobre os processos biológicos e biodisponibilidade de nutrientes

A MOS, como reserva metabólica, é essencial para a manutenção dos processos biológicos, que, por sua vez, são necessários para a ciclagem de nutrientes, evitando perdas nos sistemas agrícolas, além de permitir a disponibilização desses nutrientes às culturas, com a decomposição (Silva; Mendonça, 2007). Chiodini *et al.* (2013) mostraram, através de diversos estudos, que há maior disponibilização de nutrientes em sistemas de cultivo sujeitos a práticas agrícolas favoráveis ao acúmulo de MOS.

A composição mineral da MOS é variável, mas, no solo arável, a relação carbono/nitrogênio (C/N) varia normalmente entre 8 e 15 (Brady; Weil, 2013). Assim, considerando que há um teor de 58% de C na MOS, tem-se, aproximadamente, 5% de nitrogênio (N). Tomando como exemplo um determinado solo com 2 g 100 cm⁻³ de MOS na camada de 0 a 20 cm e que 2% do N orgânico é mineralizado durante o período de cultivo, haveria uma disponibilização de 40 kg ha⁻¹ de N. Porém, a perda líquida de MOS do sistema também implica a perda de suas propriedades benéficas. Para evitar isso, as adições devem, pelo menos, igualar as perdas, a fim de manter os níveis de MOS em um patamar mínimo.

Normalmente, quando um solo é cultivado pela primeira vez, há uma perda de MOS e um novo equilíbrio é alcançado, dependendo das características do solo e das práticas de manejo das culturas (Fageria; Stone; Santos, 1999).

Cantarella (2007) explica que adubações, tanto minerais quanto orgânicas, podem estimular a mineralização do N pela microbiota (efeito conhecido como *priming*) e que o acúmulo ou a redução dos estoques de N orgânico dependem do sentido prevalecente das reações de mineralização e imobilização.

A mineralização e a imobilização ocorrem de forma simultânea e têm estreita dependência da relação C/N dos resíduos adicionados ao solo, sendo que resíduos com baixa relação C/N (20/1) favorecem a mineralização, enquanto aqueles com maiores relações C/N (acima de 30:1) favorecem a imobilização do N pelos microrganismos (Lopes, 1998). A atividade dos microrganismos decresce à medida que a relação C/N se estreita até aproximadamente 10:1 a 12:1, indicando a estabilidade da MOS (Cantarella, 2007).

A MOS também exerce papel no aumento da disponibilidade de P. Goedert e Oliveira (2007) explicam que isso ocorre devido ao bloqueio de sítios de cargas positivas da fase mineral do solo pelos ácidos orgânicos, à protonação dos grupos amínicos no húmus (nos quais o P pode ser adsorvido por forças eletrostáticas), à solubilização de compostos fosfatados de menor solubilidade pelos ácidos orgânicos provenientes da mineralização da MOS, à complexação ou quelatação do Fe^{3+} e Al^{3+} (impedindo-os de reagir com o P na solução) e também à redução da oportunidade de fixação, quando há sincronização entre o que é liberado pela mineralização e o que é absorvido pelas plantas.

3.7 Considerações finais

A matéria orgânica fornece substâncias agregantes, formando uma estrutura de solo grumosa e estável frente à ação das chuvas; fornece substâncias orgânicas que servem de fonte de carbono (C) aos microrganismos; condiciona a vida de microrganismos benéficos, inclusive os fixadores de nitrogênio (N), que produzem substâncias de crescimento vegetal; serve de alimento a organismos decompositores, que produzem substâncias antibióticas, protegendo as plantas de pragas; e fornece substâncias intermediárias que podem ser utilizadas pelas

plantas, com efeito positivo sobre seu crescimento. Caso a matéria orgânica esteja na forma humificada, ela pode aumentar a CTC, o poder tampão e contribuir para o fornecimento de substâncias fenólicas, que favorecem uma maior absorção de fósforo (P) e promovem a sanidade vegetal (Primavesi, 2002).

Referências

- ALENCAR, T. L.; CHAVES, A. F.; SANTOS, C. L. A.; ASSIS JUNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. Atributos físicos de um Cambissolo cultivado e tratado com biofertilizante na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 737-749, 2015.
- ARRUDA, F. K.; DALBEM, E.; SOUZA, K. A. J. Matéria orgânica do solo e sua relação com diferentes texturas do solo. **Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicada da Fait**, p. 1-12, 2021.
- BARRAL, M. T.; ARIASA, M.; GUÉRIF, J. Effects of iron and organic matter on the porosity and structural stability of soil aggregates. **Soil & Tillage Research**, v. 46, p. 261-272, 1998.
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Física de suelos**. Mexico. U.T.E.H.A., 1973. 529 p.
- BETTIOL, W.; SILVA, C. A.; CERRI, C. E. P.; MARTIN NETO, L.; ANDRADE C. A. **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. Brasília: Embrapa, 2023. 788p.
- BORTOLUZZI, E. C.; RHEINHEIMER, D. S.; PETRY, C. KAMINSKI. Contribuição de constituintes de solo à capacidade de troca de cátions obtida por diferentes métodos de extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 507-515, 2009.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Bookman, 2013. 718 p.
- BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 605-614, 2006.
- BRANCALIÃO, S. R.; MORAES, M. H. Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um Nitossolo Vermelho na sucessão milheto-soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 393-404, 2008.

CAMPOS, M. C. C. Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais. **Ambiência**, v. 6, n. 3, p. 547–565, 2010.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. *In*: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, 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, p. 376–470, 2007.

CARMO, D. L.; SILVA, C. A. Relação entre matéria orgânica e argila com o poder tampão de saturação por bases de diferentes solos de Minas Gerais. *In*: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2013, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. p. 1.

CASTRO FILHO, C.; LOGAN, T. J. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, v. 55, p. 1407–1413, 1991.

CAVALCANTE, L. F.; PEREIRA, W. E.; CURVELO, C. R. S.; NASCIMENTO, J. A. M.; CAVALCANTE, I. H. L. Estado nutricional de pinheira sob adubação orgânica do solo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 579–588, 2012.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, n. 6, p. 1161–1164, 2003.

COSTA, A. S. V.; SILVA, M. B.; GALVÃO, E. R.; RUFINI, J. C. M.; MONTEIRO, C. L. O. Alterações na capacidade de retenção de água no solo após a aplicação de resíduo sólido proveniente de uma fábrica de celulose. **Revista Universidade Rural**, v. 26, p. 1–10, 2006.

CHIODINI, B. M.; SILVA, A. G.; NEGREIROS, A. B.; MAGALHÃES, L. B. Matéria orgânica e a sua influência na nutrição de plantas. **Revista Cultivando o Saber**, v. 6, n. 1, p. 181–190, 2013.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I – Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 589–602, 2011.

DECHEN, A. R.; NACHTIGAL, G. R. Micronutrientes. *In*: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 327–354, 2006.

DOBBSS, L. B.; CANELLAS, L. P.; ALLEONI, L. R. F.; REZENDE, C. E.; FONTES, M. P. F.; VELLOSO, A. C. X. Eletroquímica de Latossolos brasileiros após a remoção da matéria orgânica humificada solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 985–996, 2008.

ESCOSTEGUY, P. A. V.; BISSANI, C. A. Estimativa de H + Al pelo pH SMP em solos do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 175-179, 1999.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. dos. **Maximização da eficiência de produção das culturas**. Brasília: Embrapa-SCT/Embrapa-CNPAF, 1999. 294 p.

FREITAS, I. C. V.; MALDONADO, A. C. D.; ALVARENGA, C. B.; CAMARGO, R.; WENDLING, B. Adsorção e dessorção de metais no solo e coeficientes de isotermas de freundlich e langmuir. **Agropecuária Técnica**, v. 31, 2010.

GOEDERT, W. J.; OLIVEIRA, S. A. Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola. *In*: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 992-1017, 2007.

GOMES, R. L. R.; SILVA, M. C.; COSTA, F. R.; LIMA JUNIOR, A. F.; OLIVEIRA, I. P.; SILVA, D. B. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica do solo sob diferentes coberturas vegetais. **Rev. Faculdade Montes Belos (FMB)**, v. 8, p. 72-139, 2015.

JEONG, C. Y.; YOUNG, S. D.; MARSHALL, S. J. Competitive adsorption of heavy metals in humic substances by a simple ligand model. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, p. 515-528, 2007.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: Relações solo-planta**. Piracicaba: Ceres, 1979. 264 p.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, p. 21-29, 2015.

KLUTE, A.; DIRKSEN, C. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. *In*: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, p. 687-734, 1986.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 177p.

LUCIANO, R. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, A.; BATISTELLA, B.; WARMLING, M. T. Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, p. 1733-1744, 2012.

MACHADO, J. L.; TORMENA, C. A.; FIDALSKII, J.; SCAPIM, C. A. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 495-502, 2008.

MARTINS, C. A. S.; NOGUEIRA, N. O.; RIBEIRO, P. H.; RIGO, M. M.; CANDIDO, A. O. A dinâmica de metais-traço no solo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 17, p. 383–391, 2011.

MODOLO, A. J.; FERNANDES, H. C.; SCHAEFER, G. C. E.; SILVEIRA, J. C. M. Efeito da compactação do solo sobre a emergência de plântulas de soja em sistema plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 1259–1265, 2008.

NEGIS, H.; CEVDET, S.; GUMUS, I.; MANIRAKIZA, N.; MUCEVHER, O. Effects of biochar and compost applications on penetration resistance and physical quality of a sandy clay loam soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 51, p. 38–44, 2019.

OLNESS, A.; ARCHER, D. Effect of organic carbon on available water in soil. **Soil Science**, v. 170, p. 90–101, 2005.

PAES, J. M. V.; ANDREOLA, F.; BRITO, C. H. Decomposição da palha de café em três tipos de solo e sua influência sobre a CTC e o pH. **Revista Ceres**, v. 43, n. 249, p. 674–683, 1996.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. NBL Editora, 2002. 549 p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo, 1987. 188p.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 26 p.

SANTOS, J. N.; PEREIRA, E. D. Carta de susceptibilidade a infiltração da água no solo na sub-bacia do rio Maracanã-MA. **Cadernos de Pesquisa**, v. 20, 2013.

SCHIMIGUEL, R.; SÁ, J. C. M.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. C.; ZUFFO, J. Estabilidade de agregados do solo devido a sistemas de cultivo. **Synergismus scientifica UTFPR**, v. 9, n. 1, 2014.

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

SILVA, A. P.; TORMENA, A. C.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1–10, 2008.

VIDAL-BEAUDET, L.; CHARPENTIER, S. Percolation theory and hydrodynamics of soil– peat mixtures. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 827–835, 2000.

VON LUTZOW, M.; LIEFELD, J.; KAINZ, M.; KOGEL-KNABER, I.; MUNCH, J. C. Indications for soil organic matter quality in soils under different management. *Geoderma*, v. 105, p. 243-258, 2002.

ZHANG, H.; HARTGE, K. J.; RINGE, H. Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactibility. *Soil Science Society of America Journal*, v. 61, p. 239-245, 1997.

4

manejo e
conservação
da MOS

4.1 Técnicas utilizadas para preservação da MOS

Atualmente, destacando-se a preocupação com os impactos ambientais ocasionados por atividades agrícolas. Tal fato tem estimulado a adoção de técnicas conservacionistas de manejo do solo, que preconizam a redução de riscos aos fatores que interferem na produção agrícola, a preservação ambiental e a viabilidade econômica (Sá, 2001).

De acordo com Rockström *et al.* (2016), o desafio atual é proporcionar a manutenção e o avanço da capacidade produtiva dos solos agrícolas com simultâneo combate à degradação ambiental. Assim, estratégias que possibilitem a manutenção da matéria orgânica no solo são de fundamental importância para os sistemas agrícolas.

Nesse sentido, para que seja possível se utilizar dos benefícios da MOS, é essencial que sejam utilizadas práticas visando à sua conservação que passa pelo uso de diversas técnicas desde a conservação de solo e da água até as diferentes formas de adubação (Lopes, 1998). A Figura 2 representa de forma resumida as diferentes técnicas, utilizadas com frequência, para fins de preservação da matéria orgânica no solo. Posteriormente, será discutido de forma individualizada cada técnica destacada.

Figura 2 - Técnicas utilizadas para fins de preservação da matéria orgânica no solo



Fonte: Elaborado por Thiago Leite de Alencar.

4.2 Adubação e uso de condicionadores do solo

A adubação mineral tem por finalidade fornecer os nutrientes essenciais para a obtenção de altas produtividades, sendo realizado o processo de reposição dos nutrientes que foram extraídos e exportados pela cultura agrícola (Bettiol *et al.*, 2023). Essa prática tem um efeito benéfico no aporte de resíduos (biomassa vegetal) ao sistema agrícola. Desse modo, vale destacar que esta técnica pode representar uma relevante contribuição para a entrada de C e, conseqüentemente, no incremento da MOS, embora altas doses de adubos possam também elevar as taxas de decomposição dos resíduos vegetais (Potrich *et al.*, 2014).

A adubação orgânica consiste na adição de resíduos orgânicos ao sistema agrícola, com o objetivo de aumentar a produtividade das culturas. Essa prática é recomendada devido ao seu efeito como condicionador do solo, no fornecimento de nutrientes e na atuação sobre os microrganismos do solo (Ribeiro *et al.*, 1999).

Os resíduos orgânicos podem ser de origem vegetal ou animal e quando adicionados ao solo passam por um processo de transformação, realizado pela biota do solo, dando origem a compostos orgânicos variados que compõem a MOS (Bettiol *et al.*, 2023). Há uma diversidade de materiais que podem ser utilizados com o objetivo de aumentar a MOS, a saber: resíduos de origem vegetal (palhadas, resíduos da pós-colheita, raízes e produtos da rizodeposição) e resíduos de origem animal (esterços, águas residuárias, chorumes, lodos de lagoas de fermentação, caldas húmicas de biodigestores, entre outros) (Bettiol *et al.*, 2023). Contudo, esses materiais devem atender aos requisitos de qualidade e a legislação pertinente para serem utilizados de forma segura.

Uma alternativa viável em sistemas agrícolas para mitigar os efeitos da degradação do solo e melhorar seu desempenho, é a adição de matéria orgânica por meio de biofertilizantes (Pagliai; Antisari, 1993; Kimatura *et al.*, 2008). O biofertilizante é um produto resultante do processo de biodigestão de resíduos orgânicos (Barros, 2011). Sua composição depende de alguns aspectos, a saber: da decomposição dos resíduos orgânicos utilizados e do processo de biodigestão realizada (com a presença ou ausência de oxigênio) (Borges *et al.*, 2021).

O biofertilizante estimula a liberação de substâncias húmicas no solo, por ser um composto bioativo que possui células vivas ou latentes de microrganismos (Barros, 2011; Alencar, 2014). Além disso, contém agentes biológicos e nutrientes que possibilitam um melhor equilíbrio nutricional das culturas agrícolas e proteção contra ataques de pragas (Borges *et al.*, 2021). Segundo Tejada *et al.* (2008), o biofertilizante melhora consideravelmente os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, sendo, portanto, um agente benéfico para os sistemas agrícolas.

Dentre os materiais utilizados na produção de biofertilizante, destaca-se o esterco bovino, pois apresenta elevado potencial de uso como fertilizante orgânico, especialmente em solos pobres em matéria orgânica (Filgueira, 2008).

A aplicação do biofertilizante bovino, adubo orgânico na forma líquida, tem se tornado uma prática eficiente na fertilização e agregação do solo, suprimindo as deficiências nutricionais das culturas agrícolas e favorecendo a melhoria da qualidade da estrutura do solo (Tratch; Bettiol, 1997; Medeiros *et al.*, 2007; Alves *et al.*, 2009). É importante destacar que o biofertilizante bovino na forma líquida deve ser adicionado diretamente no solo, pois isso promove melhoria significativa dos processos de aeração, infiltração e armazenamento de água (Bettiol *et al.*, 1998).

Gialbiatti *et al.* (1996), ao estudarem a aplicação de diferentes doses de biofertilizante em cultivo de feijoeiro, observaram que os tratamentos que receberam a maior dose apresentaram maior desenvolvimento das plantas, o que se deve à melhoria nas condições físicas do solo, da capacidade de troca catiônica e da disponibilização de nutrientes. Segundo Alencar *et al.* (2015), a aplicação de biofertilizante melhora a qualidade física do solo, particularmente no tocante à retenção de água em decorrência do aumento da microporosidade.

Vale salientar que o aumento da MOS com a prática da adubação orgânica tão-somente não é uma tarefa fácil. Por exemplo, para o aumento de 1% (m/v) no teor de MOS na camada de 0 a 20 cm, seria necessária a aplicação de 50 Ton ha⁻¹ de composto orgânico (com 40% de matéria orgânica), sendo que a expectativa é que boa parte desse

material seja mineralizado ainda no primeiro ano da aplicação. Souto *et al.* (2005) verificaram que menos de 60% do peso original de esterco incubados a 10 cm de profundidade, após 180 dias, em área do semiárido paraibano.

Ribeiro *et al.* (1999) apontaram os seguintes índices médios de conversão da forma orgânica para a mineral no primeiro ano de aplicação de resíduos orgânicos ao solo: 50% para nitrogênio (N), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S); e de 60% a 100% para fósforo (P) e potássio (K), respectivamente. No entanto, no caso de materiais pobres em nutrientes (principalmente em N) e maior presença de lignina e celulose e, especialmente, nos resíduos com alto grau de humificação, esses índices de conversão podem ser bem menores (Silva, 2008), atuando mais como condicionadores do solo do que como adubos orgânicos.

Não são raros os trabalhos indicando o efeito positivo da adubação orgânica sobre a produção vegetal, a qual pode ser relacionada com a liberação de nutrientes, pela sua mineralização, mas, segundo Primavesi (2002), trata-se também de um fator diferente causado pela substância orgânica.

Em suma, apesar dos inúmeros benefícios, nem sempre a adubação orgânica contribui para o aumento dos estoques de MOS, mas visa principalmente à disponibilização de nutrientes. Quando o objetivo é manter ou aumentar os estoques de MOS no solo, devem-se adotar práticas de manejo adequadas para o aumento do tempo de residência do resíduo orgânico, isto é, que reduzam sua velocidade de decomposição e mineralização. Nessa perspectiva, uma das práticas utilizadas é manejar resíduos de culturas ou mesmo utilizar plantas de cobertura com a finalidade de melhorar as características do solo para o desenvolvimento das culturas.

Materiais vegetais com reduzida relação C/N (<25), baixos teores de lignina e polifenóis normalmente apresentam maiores taxas de decomposição e mineralização, enquanto outros, com maiores relações C/N e de compostos recalcitrantes têm menores taxas de decomposição e maior potencial para proteção física do solo (Espíndola; Guerra; Almeida, 2005). Em experimento realizado na região semiárida, verificou-se o potencial de liberação de nutrientes por diferentes espécies de leguminosas utilizadas como adubos verdes. As espécies *Crotalaria*

spectabilis e *Canavalia ensiformes* apresentaram maior velocidade de decomposição e liberação de nutrientes, enquanto *Crotalaria juncea* foi a mais recomendada para garantir maior persistência dos resíduos no solo (Pereira *et al.*, 2016).

Espíndola, Guerra e Almeida (2005) ressaltam que, na escolha das espécies de leguminosas para uso como adubos verdes, devem-se considerar também as características de crescimento dessas plantas, tais como: hábito de crescimento (plantas trepadeiras exigem mais cuidados no consórcio com outras espécies); ciclo (leguminosas perenes podem manter suas folhas durante a floração, enquanto as anuais promovem cobertura rápida do solo); sementes com dormência (mais comum em leguminosas perenes); entre outras.

Outro material que tem se mostrado promissor nesse sentido é o biochar, produto obtido pela pirólise de biomassa de diferentes materiais (como madeira, esterco e resíduos vegetais). Esse material apresenta elevado potencial de recalcitrância nos solos, o que implica maior conservação da MOS. No entanto, a pesquisa nessa área ainda é incipiente, sendo necessários estudos sobre fatores como solo, clima, formas de manejo e tipos de matérias-primas mais adequadas (Verheijen *et al.*, 2010).

É importante destacar que, nas condições tropicais, os teores de MOS são, em geral, baixos na maioria dos solos, devido às altas temperaturas e à elevada pluviosidade, que aceleram sua decomposição. Por isso, torna-se fundamental adotar um manejo adequado do solo, a fim de manter ou aumentar seus estoques de MOS (Lopes, 1998). Nas condições de clima tropical semiárido, o maior desafio é a baixa produção vegetal e, conseqüentemente, a menor adição de resíduos ao solo, devido aos longos períodos de estiagem. No entanto, esse desafio pode ser superado com o uso da irrigação.

4.3 Práticas de manejo de resíduos para estabilização da MOS

De acordo com Silva e Mendonça (2007), a prática do plantio direto tem contribuído para melhores indicadores da MOS, tanto quantitativa quanto qualitativamente, com resultados ainda mais expressivos

quando associada à rotação de culturas, incluindo o uso de leguminosas como adubos verdes. Segundo os autores, destacam-se também os sistemas integrados, como os agrossilvipastoris, pelo aporte de matéria orgânica, principalmente via radicular, além da preservação de um microclima mais ameno e da melhoria na ciclagem de nutrientes. Segundo Bernardi *et al.* (2023), os sistemas integrados de produção agrícola são estratégias de gerenciamento muito eficientes na estabilização do C no solo e, desse modo vem se destacando no contexto de práticas agrícolas inovadoras e sustentáveis.

Nesse contexto, destaca-se que uma maior variedade de espécies vegetais em uma área proporciona o incremento dos teores de matéria orgânica do solo e favorece o desenvolvimento de sua estrutura, uma vez que essas espécies apresentam diversos tipos de arquitetura radicular, distribuídos em várias direções ao longo do perfil, formando uma rede porosa mais estável (Cui *et al.*, 2019).

A priorização do aporte orgânico no manejo do sistema agrícola deve, com o tempo, promover mudanças nos processos de mineralização e imobilização, com efeito no equilíbrio do teor de MOS, em relação à condição original (Silva; Mendonça, 2007). Nessas condições, é possível manter o solo com altos teores de MOS, com relativa estabilidade.

Para melhor suporte às tomadas de decisão no campo, deve-se compreender os processos pelos quais passa a matéria orgânica e o que contribui para sua maior ou menor conservação no solo, uma vez que não há uma receita geral para o seu manejo, pois depende do clima, do tipo de solo e do histórico de uso do mesmo, como apregoado por Machado (2001). Assim, estudos têm sido realizados no sentido de compreender os fatores que levam a estabilização da MOS (Machado *et al.*, 2014).

Considera-se, para fins práticos, que 58% da MOS é constituída por C (Rajj, 2011). As transformações do C, assim como de outros nutrientes na fase orgânica, dependem da ação de microrganismos que, por sua vez, é regulada por diferentes propriedades do solo, pelas práticas de manejo, bem como pela composição dos resíduos, seu estado físico e seu modo de aplicação (Machado, 2001).

Materiais com maiores relações C/N (>30/1) favorecem a imobilização de N pelos microrganismos, decompondo-se mais lentamente, enquanto que menores relações C/N (<20/1) tendem a mais rápida mineralização (Lopes, 1998), sendo ainda mais rápida se houver umidade suficiente combinada com altas temperaturas (Goedert; Oliveira, 2007).

Assim, materiais com maior relação C/N, como as gramíneas, tendem a ter maior permanência no solo, mas influenciam uma maior imobilização de nutrientes no início da decomposição, principalmente de N (Teixeira *et al.*, 2010). Por sua vez, materiais com menores relações C/N, como as leguminosas, tendem a se decompor rapidamente, favorecendo a disponibilização de N no solo, sendo, por isso, normalmente utilizadas como adubos verdes, porém, esta característica varia não apenas com a espécie, mas também com as condições de crescimento das plantas (Pereira *et al.*, 2012).

Uma das formas de preservar a MOS é adotar práticas que evitem a mobilização do solo, assim como a manutenção de uma cobertura vegetal na superfície do solo. A incorporação de resíduos favorece o contato solo/resíduos, bem como a movimentação de água e N mineral até os sítios de decomposição, acelerando esse processo.

Em experimento com resíduos culturais de cana-de-açúcar, Potrich *et al.* (2014) demonstraram que a aplicação de doses crescentes de nitrogênio acelera a taxa de decomposição dos resíduos. Por outro lado, os autores destacaram um efeito positivo no C orgânico lábil do solo sob os resíduos, um compartimento do carbono orgânico total que é mais sensível às mudanças de manejo do solo.

O contato dos resíduos com o solo afeta a decomposição, que é intensificada com a redução do tamanho das partículas (Aita; Giacomini, 2007). Além disso, o revolvimento do solo incrementa a oxidação dos compostos orgânicos, levando à ruptura mecânica dos agregados, deixando a superfície do solo suscetível ao impacto das gotas de chuva e às variações de umidade e temperatura (Mielniczuk, 2008).

Portanto, em condições favoráveis à decomposição e mineralização (altas temperaturas e umidade), geralmente recomenda-se a manutenção da palhada sobre a superfície do solo para proteger e conservar a MOS.

Para Goedert e Oliveira (2007), a cobertura do terreno com palhada representa a essência do Sistema de Plantio Direto, no qual se espera que haja a redução das perdas de solo, pela redução do impacto das gotas de chuva; o aumento da infiltração da água no solo; o favorecimento da atividade biológica, por minimizar as variações de temperatura; e o aumento da MOS, no perfil do solo. A cobertura permanente do solo no sistema de Plantio Direto atua protegendo e mantendo os macroagregados do solo, o que reduz a taxa de oxidação do carbono intra-agregado e as raízes do cultivo de cobertura promovem o entrelaçamento dos agregados (Tivet *et al.*, 2013; Briedis *et al.*, 2016; Ferreira *et al.*, 2018).

Vale salientar ainda que as raízes exsudam compostos orgânicos (glomalininas e polissacarídeos) que, por serem agentes cimentantes, atuam no processo de estabilização e na longevidade da estrutura do solo (Bettiol *et al.*, 2023).

A rotação de culturas é a utilização de diferentes espécies vegetais de forma ordenada, intercalando-as no mesmo intervalo de tempo, na mesma área e no mesmo período do ano (Saiki, 2022). De acordo com o autor, essa técnica proporciona diferentes benefícios para o sistema agrícola como um todo, uma vez que promove a produção variada de alimentos, melhora características físicas, químicas e biológicas do solo, auxilia no controle das doenças e pragas agrícolas e atua de forma significativa na reposição da matéria orgânica do solo.

O uso dessa prática agrícola possibilita um melhor desenvolvimento da fitomassa, o que proporciona um aumento nos teores de matéria orgânica no solo, que por sua vez contribui para o melhor crescimento e desenvolvimento da cultura subsequente (Saiki, 2022). É importante fazer um planejamento de quais culturas devem ser utilizadas nessa técnica, levando-se em consideração o clima da região e as características genéticas que apresentem melhor resposta para a produção econômica e de biomassa (Alexandrino, 2015). A utilização de espécies leguminosas na rotação de culturas tem um papel fundamental, uma vez que elas proporcionam a adição de nitrogênio (N) ao sistema produtivo, elemento este que tem um papel fundamental para o aumento de fitomassa no solo e conseqüentemente dos estoques de matéria orgânica (Franchini *et al.*, 2011). Segundo Arf *et al.* (1999), o recomendável nessa

técnica de rotação de culturas é a utilização de espécies fixadoras de Nitrogênio (N), que apresentem sistema radicular bem distribuído em profundidade. Além disso, deve-se priorizar espécies com capacidade de aproveitamento dos fertilizantes residuais das culturas comerciais.

Os sistemas integrados de produção têm se destacado atualmente pela capacidade de obter produtos de qualidade, associado a melhorias em atributo do solo e incrementos nos teores de matéria orgânica. De acordo com Carvalho *et al.* (2010), a utilização de sistemas integrados possibilita um considerável acúmulo de carbono no solo, uma vez que esses sistemas visam à manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo.

Vale ressaltar que, para obter sucesso nos sistemas integrados, em relação ao aporte e manutenção do carbono no solo, será necessário o uso de boas práticas de manejo ao longo do tempo (Bernardi *et al.*, 2023). Segundo Oliveira *et al.* (2018), algumas dessas práticas estão relacionadas a um menor revolvimento do solo, à manutenção da qualidade física do solo, aos aportes contínuos de biomassa e restos culturais e cobertura constante do solo, com a finalidade de reduzir os processos erosivos.

De acordo com Souza *et al.* (2023), deve-se compreender que, embora os sistemas integrados de produção sejam conservacionistas, a não observância de aporte considerável de resíduos ao solo pode comprometer de forma significativa a eficácia do sistema. Nesse sentido, Roscoe *et al.* (2006) afirmam que, para aumentar a quantidade de resíduos aportados, deve-se incluir ao sistema ciclos de cultivo de forrageiras no esquema de rotação ou sucessão.

Resultados encontrados por Aguiar *et al.* (2014) evidenciam o potencial dos sistemas integrados, uma vez que foram mais eficientes em acumular carbono nos compartimentos (solo, planta e serapilheira) quando comparados ao sistema de produção tradicional. O sucesso de alguns sistemas integrados em acumular MOS se deve à atuação das raízes de gramíneas forrageiras utilizadas como cobertura e/ou pastagem (Salton *et al.*, 2011; Loss *et al.*, 2012; Baptistella *et al.*, 2020). Assim, o processo de integração resulta em mudanças que ocorrem tanto abaixo quanto acima da superfície do solo (Bieluczyk *et al.*, 2022).

Estratégias como a utilização de sistemas integrados, que aumentem as adições de resíduos e reduzam as perdas de solo, são de grande valia para aumentar os estoques de MOS de maneira sustentável (Giongo *et al.*, 2021). Tais sistemas, futuramente, contribuirão de forma significativa para a otimização do uso de recursos e para a eficiência do uso do solo (Bieluczyk *et al.*, 2022).

A estabilização da MOS também pode ocorrer por proteção química ou coloidal, por sua associação com as frações argila e silte do solo (Silva; Mendonça, 2007). Raij (2011) informa que se pode ter uma noção do teor de MOS, pela textura: até 15 g dm⁻³, para solos arenosos, de 16 a 30 g dm⁻³ para solos de textura média e de 31 a 60 g dm⁻³, para solos argilosos, sendo que teores acima de 60 g dm⁻³ podem estar associados a más condições de drenagem. No entanto, nem sempre os estoques de carbono orgânico se correlacionam com os teores de argila, o que sugere que essa estabilização também está relacionada à qualidade da argila (Silva; Mendonça, 2007).

Como a textura e a mineralogia são inerentes ao solo, as práticas de manejo dos resíduos orgânicos terão maior efeito sobre a estabilização física e bioquímica (Silva; Mendonça, 2007). Primavesi (2002) aconselha que deve haver retorno periódico de matéria orgânica ao solo para manter sua estrutura grumosa e que as reposições de matéria orgânica, por meio de cobertura morta, podem colaborar tanto com a melhoria da fertilidade, quanto para a manutenção da capacidade produtiva do solo.

4.4 Considerações finais

Os princípios para o manejo e a conservação da matéria orgânica do solo (MOS) envolvem o uso de materiais, associados a determinado manejo e às condições climáticas, não existindo uma receita pronta, sendo importante que se adaptem os métodos de manejo do solo, conforme o caso. É importante frisar que, em todo caso, o sistema de produção deve permitir um volume suficiente de resíduos, de modo que não se pode deixar de considerar o uso de produtos e técnicas de cultivo visando à maior produtividade vegetal.

Referências

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. *In*: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. E.; VITTI, G. C. (Ed.). Simpósio sobre Nitrogênio e Enxofre na Agricultura Brasileira, Piracicaba, 2007. **Anais...** Piracicaba, IPNI Brasil, p. 275–374, 2007.

AGUIAR, M. I.; FIALHO, J. S.; CAMPANHA, M. M.; OLIVEIRA, T. S. Carbon sequestration and nutrient reserves under different land use systems. **Revista Árvore**, v. 38, p. 81–93, 2014.

ALENCAR, T. L. **Alterações físicas em um Cambissolo tratado com Biofertilizante**: Indicadores de qualidade e refinamento do método de avaliação pelo Srelativo. 2014. 91 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

ALENCAR, T. L.; CHAVES, A. F.; SANTOS, C. L. A.; ASSIS JUNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. Atributos físicos de um Cambissolo cultivado e tratado com biofertilizante na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 737–749, 2015.

ALEXANDRINO, S. A. **Sistemas de produção com rotação de culturas, coberturas e herbicidas para redução e prevenção do desenvolvimento de plantas daninhas resistentes ao Glifosato**. 2015. 142 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

ALVES, G. S.; SANTOS, D.; SILVA, J. A.; NASCIMENTO, J. A. M. N.; CAVALCANTE, L. F.; DANTAS, T. A. G. Estado nutricional do pimentão cultivado em solo tratado com diferentes tipos de biofertilizantes. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, p. 661– 665, 2009.

ARF, O.; SILVA, L. S.; BUZETTI, S.; ALVES, M. C.; SÁ, M. E.; RODRIGUES, R. A. F.; HERNANDEZ, F. B. T. Efeito da rotação de culturas, adubação verde e nitrogenada sobre o rendimento do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 2029–2036, 1999.

BAPTISTELLA, J. L.; ANDRADE, S. A. L.; FAVARIN, J. L.; MAZZAFERA, P. *Urochloa* in tropical agroecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 119, p. 1–17, 2020.

BARROS, C. M. B. **Substratos e adubação foliar com biofertilizante na produção de mudas de maracujazeiro e mamoeiro**. 2011. 71 p. (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2011.

BERNARDI, A. C. C.; TADINI, A. M.; BIELUCZYK, W.; PEZZOPANE, J. R. M.; MACHADO, P. L. O. A.; MADARI, B. E. MARTIN NETO, L. **Manejo conservacionista da matéria orgânica do solo**: sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. *In*: BETTIOL, W.; SILVA, C. A.; CERRI, C. E. P.; MARTIN NETO, L.; ANDRADE, C. A. (Org.). Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical. Brasília: Embrapa, p. 569-600, 2023.

BETTIOL, W.; TRATCH, R.; GALVÃO, J. A. H. **Controle de doenças de plantas com biofertilizantes**. Jaguariúna: EMBRAPA-CNPMA, 1998. 22p. (EMBRAPA-CNPMA. Circular Técnica, 02).

BETTIOL, W.; SILVA, C. A.; CERRI, C. E. P.; MARTIN NETO, L.; ANDRADE, C. A. **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. Brasília: Embrapa, 2023. 788p.

BIELUCZYK, W.; BONETTI, J. A.; DENARDIN, L. G. O.; PIRES, G. C.; BERNARDI, A. C. C.; PEZZOPANI, J. R. M.; CARVALHO, P. C. F.; SOUZA, E. D. **Manejo do solo para a sustentabilidade de sistemas integrados de produção agropecuária**. *In*: MARTINS, A. G.; BATISTA, A. H.; WENDLING, B.; PEREIRA, M. G.; SANTO, W. O. (Org.). Manejo do Solo em Sistemas Integrados de Produção. Ponta Grossa - PR: Atena, p. 80-128, 2022.

BORGES, W. L.; MORAES, A. S.; FERREIRA, N. S.; COSTA, S. F. **Recomendação técnica para produção e uso de biofertilizante**. Macapá: Embrapa Amapá, 2021, 7 p. (Embrapa Amapá. Comunicado técnico, 161). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/222229/1/CPAF-AP-2021-COT-162-Recomendacao-tecnica-producao-uso-biofertilizante.pdf>. Acesso em: 21 set. 2024.

BRIEDIS, C.; SÁ, J. C. M.; LAL, R.; TIVET, F.; OLIVEIRA, A. F.; FRANCHINI, J. C.; SCHIMIGUEL, R.; HARTMAN, D. C.; SANTOS, J. Z. Can highly weathered soils under conservation agriculture be C saturated? **Catena**, v. 147, p. 638-649, 2016.

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

CUI, Z.; WU, G. L.; HUANG, Z.; LIU, Y. Fine roots determine soil infiltration potential than soil water content in semi-arid grassland soils. **Journal of Hydrology**, v. 578, n. 124023, 2019.

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. Uso de leguminosas herbáceas para adubação verde. *In*: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Ed) **Agroecologia**: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 435-452, 2005.

FERREIRA, A. O.; SÁ, J. C. M.; LAL, R.; TIVET, F.; BRIEDIS, C.; INAGAKI, T. M.; GONCALVES, D. R. P.; ROMANIW, J. Macroaggregation and soil organic carbon restoration in a highly weathered Brazilian Oxisol after two decades under no-till. **Science of the Total Environment**, v. 621, p. 1559–1567, 2018.

FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de olericultura**: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2008. 402p.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M.; DEBIASI, H.; TORRES, E.. Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná. **Embrapa Soja-Documents (INFOTECA-E)**, 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/897259>. Acesso em: 01 out. 2024.

GIALBIATTI, J. A.; GARCIA, A.; SILVA, M. L. O.; MASTROCOLA, M. A.; CALDEIRA, D. S. A. Efeitos de diferentes doses e épocas de aplicação de efluente de biodigestor e da adubação mineral em feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) submetido a duas lâminas de água por meio de irrigação por sulco. **Científica**, São Paulo, v. 24, n.1, p. 63-74, 1996.

GIONGO, V.; FREITAS, M. S. C.; FREITAS, R. C. A.; FREITAS, A. D. S.; TAURA, T. A.; LEITE, L. F. C. **Matéria orgânica do solo em sistemas de produção integrados no nordeste brasileiro**. In: SOUZA, H. A.; LEITE, L. F. C.; MEDEIROS, J. C. Solos Sustentáveis para a Agricultura no Nordeste. Embrapa, Brasília – DF, p. 81-112, 2021.

GOEDERT, W. J.; OLIVEIRA, S. A. Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 992-1017, 2007.

KIMATURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 405-416, 2008.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 177p.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G. P.; PERIN, A.; COUTINHO, F. S.; ANJOS, L. H. C. Particulate organic matter in soil under different management systems in the Brazilian Cerrado. **Soil Research**, v. 50, p. 685-693, 2012.

MACHADO, L. V.; RANGEL, O. J. P.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, R. V.; FERRARI, J. L. Fertilidade e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 3, p. 289-299, 2014. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/8053>. Acesso em: 8 dez. 2022.

MACHADO, L. V.; RANGEL, O. J. P.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, R. V.; FERRARI, J. L. Fertilidade e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 3, p. 289-299, 2014. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/8053>. Acesso em: 8 dez. 2022.

MACHADO, P. L. O. A. Manejo da matéria orgânica de solos tropicais: abrangência e limitações. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos-Documents**, 24 (INFOTECA-E), 2001. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/338512/1/doc242001solostropicais.pdf>. Acesso em: 09 dez. 2022.

MEDEIROS, D. C.; LIMA B. A. B.; BARBOSA, M. R.; ANJOS R. S. B.; BORGES, R. D.; CAVALCANTE NETO, J. G.; MARQUES, L. F. Produção de mudas de alface com biofertilizantes e substratos. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 25, p. 433-436, 2007.

MIELNICZUK, J. Matéria Orgânica e a Sustentabilidade de Sistemas Agrícolas. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo, ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, p. 1-5, 2008.

OLIVEIRA, J. M.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. T. M.; ASSIS, P. C. R.; SILVEIRA, A. L. R.; LIMA, M. L.; WRUCK, F. J.; MEDEIROS, J. C.; MACHADO, P. L. O. A. Integrated farming systems for improving soil carbon balance in the southern Amazon of Brazil. **Regional Environmental Change**, v. 18, p. 105-116, 2018.

PAGLIAI, M.; ANTISARI, L. V. Influence of waste organic matter on soil micro and macrostructure. **Bioresource Technology**, v. 43, p. 205-213, 1993.

PEREIRA, N. S. **Potencial de utilização de leguminosas como fonte de nitrogênio para a cultura da bananeira**. 77f. (Dissertação). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

PEREIRA, N. S.; SOARES, I.; DE MIRANDA, F. R. Decomposição e liberação de nutrientes por espécies de leguminosas utilizadas como adubo verde no agropólo Jaguaribe-Apodí, CE. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 6, p. 970-975, 2016.

PEREIRA, N. S.; SOARES, I.; PEREIRA, E. S. S. Uso de leguminosas como fonte alternativa de N nos agroecossistemas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 5, p. 36-40, 2012.

POTRICH, D. C.; MARCHETTI, M. E.; POTRICH, D. C.; ENSINAS, S. C.; SERRA, A. P.; SILVA, E. F.; SOUZA, N. H. Decomposição de resíduos culturais de cana-de-açúcar submetidos a diferentes doses de nitrogênio. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 1751-1759, 2014.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo**: a agricultura em regiões tropicais. NBL Editora, 2002. 549 p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI Brasil, 420p., 2011.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V, V. H. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes para o estado de Minas Gerais. 5 aproximação**, Viçosa, CFSEMG, 1999. 359p.

ROCKSTRÖM, J.; WILLIAMS, J.; DAILY, G.; NOBLE, A.; MATTHEWS, N.; GORDON, L.; WETTERSTRAND, H.; DECLERCK, F.; SHAH, M.; STEDUTO, P.; FRAITURE, C.; HATIBU, N.; UNVER, O.; BIRD, J.; SIBANDA, L.; SMITH, J. Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. **Ambio**, v. 46, p. 4-17, 2016.

ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J.C. **Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo**. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (Org.). Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: Modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, p. 17-41, 2006.

SÁ, J. C. M. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas de manejo convencional e plantio direto**. 2001. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SAIKI, L. S. **Importância da rotação de culturas para a sustentabilidade na agricultura**. 2022. 28 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Norte do Paraná, Paraná, 2022.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1349-1356, 2011.

SILVA, C. A. Uso de Resíduos Orgânicos na Agricultura. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo, ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, p. 597-624, 2008.

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

SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S.; SANTOS, R. V.; ARAÚJO, G. T.; SOUTO, I. S. Decomposição de esterco disposto em diferentes profundidades em área degradada no semi-árido da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 125-130, 2005.

SOUZA, E. D.; SILVA, F. D.; PACHECO, L. P.; LAROXIA, J. S. V.; SOUZA, J. M. A.; BONETTI, J. A. **Matéria orgânica do solo em sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil**. In: SOUZA, E. D.; SILVA, F. D.; ASSMANN, T. S.; CARNEIRO, M. A. C.; CARVALHO, P. C. F.; PAULINO, H. B. (Org.). *Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil*. Rondonópolis – Mato Grosso, p 107-122, 2023.

TEIXEIRA, C. M.; CARVALHO, G. J.; SILVA, C. A.; ANDRADE, M. J. B.; PEREIRA, J. M.. Liberação de macronutrientes das palhadas de milho solteiro e consorciado com feijão-de-porco sob cultivo de feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 497-505, 2010.

TEJADA, M.; GONZALEZ, J. L.; GARCÍA-MARTÍNEZ, A. M.; PARRADO, J. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 1758-1767, 2008.

TIVET, F.; SÁ J. C. M.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; BORSZOWSKI, P. R.; SANTOS, J. B.; FARIAS, A.; EURICH, G.; HARTMAN, D. C.; NADOLNY JUNIOR, M.; BOUZINAC, S.; SEGUY, L. Aggregate C depletion by plowing and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 126, p. 203-218, 2013.

TRATCH, R.; BETTIOL, W. Efeitos de biofertilizantes sobre o crescimento micelial e a germinação de esporos de alguns fungos fitopatogênicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, p. 1131-1139, 1997.

VERHEIJEN, F.; JEFFERY, S.; BASTOS, A. C.; VAN DER VELDE, M.; DIAFAS, I. Biochar application to soils. A critical scientific review of effects on soil properties, processes, and functions. **EUR**, v. 24099, n. 162, p. 2183-2207, 2010.

5

MOS e a
estabilidade
do sistema de
produção

5

MOS e a estabilidade do sistema de produção

5.1 Conceitos básicos

A estabilidade do sistema de produção está relacionada à sua capacidade de manter um nível aceitável de produtividade no longo prazo, ou seja, sua sustentabilidade.

A sustentabilidade agrícola relaciona-se à qualidade do solo (QS), e a MOS é um dos indicadores que podem ser utilizados para a avaliação da QS, devido a sua relação direta com diversos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo (Vezzani; Mielniczuk, 2009). Essa relevância da MOS deve-se à sua influência na manutenção da qualidade química, física e biológica dos solos (Silva; Mendonça, 2007).

A qualidade do solo, por sua vez, pode ser definida como a aptidão do solo para o desempenho de suas diferentes funções na natureza, para sustentar a produção de plantas e para a conservação ambiental, da saúde das plantas, dos animais e dos seres humanos (Goedert; Oliveira, 2007). Assim, o conhecimento da qualidade do solo e de seus indicadores é de grande importância em sistemas de produção agrícola, tendo em vista os efeitos positivos sobre todo o ambiente, decorrentes da melhoria do ambiente edáfico (Reichert; Reinert; Braida, 2003).

5.2 Estabilidade do sistema de produção agrícola

Mielniczuk (2008) sublinhou que o teor de MOS é possivelmente o melhor indicador da QS e que sua redução está associada a falhas no manejo, como rápida erosão, revolvimento excessivo, baixa produção de biomassa, entre outros. Conceição *et al.* (2005), a partir de dois experimentos de longa duração realizados em Argissolos no sul do Brasil, concluíram que a MOS, juntamente com outros atributos relacionados,

foi eficiente para a verificação da alteração da qualidade em diferentes sistemas de manejo.

Vezzani *et al.* (2008) utilizam o conceito de propriedades emergentes ao falar sobre o papel da MOS, isto é, aquelas geradas por um novo estado de organização criado, defendendo que estas estão intimamente relacionadas às funções exercidas pela MOS. Entre essas diversas funções, citam-se as seguintes:

a) Física do solo: estabilidade de agregados;

b) Química do solo: retenção de nutrientes e compostos, influenciando a disponibilidade potencial de nutrientes;

c) Biologia do solo: atividade biológica do solo, cujo equilíbrio da cadeia trófica reflete a influência de todos os fatores na qualidade do solo.

Devido ao papel da matéria orgânica na melhoria da estrutura do solo e da sua capacidade de retenção de nutrientes, um manejo apropriado da MOS pode contribuir para o aumento da produtividade e da qualidade ambiental, reduzindo também a severidade e os custos associados aos fenômenos naturais, como secas e inundações, além de ajudar a reduzir as emissões de CO₂ atmosférico, que contribuem para a mudança climática (Gobin *et al.*, 2011). Todas essas funções da MOS têm notável influência na resiliência do sistema agrícola e, conseqüentemente, na manutenção de sua capacidade produtiva, em face das condições nem sempre ideais nas quais são conduzidos os sistemas de cultivo.

A resiliência pode ser relacionada à capacidade do solo em se recuperar quando sob efeito de um manejo intensivo e/ou inadequado (Goedert; Oliveira, 2007). Vezzani e Mielniczuk (2011) explicam que, em um ambiente com diversidade biológica, há maior resistência do sistema aos estresses, aumentando, conseqüentemente, sua resiliência. Além disso, não é possível obter alta diversidade sem um estoque mínimo de MOS.

Primavesi (2002) assinalou a relação entre a sanidade vegetal e a matéria orgânica, indicando que há menor suscetibilidade das plantas às pragas e doenças com a melhoria da bioestrutura do solo, em razão

da diversificação da microbiota e fauna do solo. O efeito da MOS depende de seu manejo, não havendo uma receita pronta para todos os casos. Contudo, é razoável admitir que há uma relação entre a biodiversidade local e o potencial de contribuição das práticas agrícolas para a manutenção da qualidade do solo (Figura 3).

Figura 3 - Campo cultivado com crotalária (*Crotalaria* spp.), planta conhecida por suas propriedades fixadoras de nitrogênio, que beneficiam o solo. Uma abelha mamangava (*Bombus* spp.) é observada entre as flores, ilustrando a interação entre a agricultura



Fonte: Natanael S. Pereira/Acervo Pessoal.

Segundo Fageria, Stone e Santos (1999), o teor de MOS é controlado por muitos fatores que têm interações complexas, constituindo fonte de estabilidade dos agroecossistemas. De acordo com Reichert, Reinert e Braidá (2003), considerando que o sistema solo-planta é um sistema aberto, pode-se afirmar pelos princípios da termodinâmica que a sustentabilidade dos sistemas agrícolas depende do equilíbrio entre processos dissipativos e ordenativos, para a minimização da produção de entropia.

Acredita-se que a abordagem pós-moderna, ou não convencional, dos sistemas agrícolas abriu espaço para o desenvolvimento de diferentes linhas de pensamento voltadas para uma agricultura de base

ecológica (orgânica, biodinâmica, biológica, natural, entre outras), privilegiando as interações biológicas, além das questões ambientais e sociais (Jesus, 2005). Para Feiden (2005), os sistemas de produção devem se aproximar tanto quanto possível dos ecossistemas naturais, aumentando a possibilidade de serem sustentáveis.

Na prática, na busca por formas de manejo e tecnologias que contribuam para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, deve-se realizar o monitoramento com indicadores que sejam integradores de processos e que possuam uma relação clara com as funções do solo (Reichert; Reinert; Braida, 2003).

Entretanto, deve-se observar que, devido às alterações no funcionamento do solo, há limitações no uso de indicadores de forma isolada. Nesse sentido, Anghinoni e Vezzani (2021) propuseram o conceito de fertilidade sistêmica do solo, que contempla essas limitações, somadas a uma compreensão fundamentada em uma abordagem sistêmica dos processos funcionais do solo.

No contexto prático, a adoção de sistemas conservacionistas como o Plantio Direto, associado com rotação de culturas é uma alternativa interessante para o estabelecimento de sistemas de produção sustentáveis (Sá *et al.*, 2010).

5.3 Considerações finais

A compreensão das funções da MOS no sistema agrícola permite a elaboração de estratégias para seu manejo e conservação. O foco na diversificação de espécies e na abordagem sistêmica dos processos do solo configura-se como um princípio relevante para a manutenção dos estoques de C no solo e para a estabilidade do sistema de produção.

Recomenda-se o estudo e a experimentação em condições locais, visando às melhores práticas de manejo para a conservação da MOS, por serem as mais promissoras no contexto prático, embora demandem projetos de médio a longo prazo.

Referências

- ANGHINONI, I.; VEZZANI, F. M. Systemic soil fertility as product of system self-organization resulting from management. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, e0210090, 2021. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210090>.
- CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 777-788, 2005.
- FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. dos. **Maximização da eficiência de produção das culturas**. Brasília: Embrapa-SCT/Embrapa-CNPAP, 1999. 294 p.
- FEIDEN, A. Agroecologia: introdução e conceitos. *In*: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Ed). **Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 49-70, 2005.
- GOBIN, A.; CAMPLING, P.; JANSSEN, L.; DESMET, N.; VAN DELDEN, H.; HURKENS, J.; LAVELLE, P.; BERMAN, S. Soil Organic Matter Management Across the EU–best Practices, Constraints and Trade-offs. **Final Report for the European Commission's DG Environment**, 34, 2011. Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/c4826475-ab97-4375-941a-19ea8e5c8ef6>. Acesso em: 6 dez. 2022.
- GOEDERT, W. J.; OLIVEIRA, S. A. Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola. *In*: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 992-1017, 2007.
- JESUS, E. L. Diferentes abordagens de agricultura não convencional: história e filosofia. *In*: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Ed) **Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 21-48, 2005.
- MIELNICZUK, J. Matéria Orgânica e a Sustentabilidade de Sistemas Agrícolas. *In*: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo, ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, p. 1-5, 2008.
- PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. NBL Editora, 2002. 549 p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, 27, p. 29-48, 2003.

SÁ, J. C. M.; SEGUY, L.; SÁ, M. F. M.; FERREIRA, A. O.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B.; CANALLI, L. Gestão da matéria orgânica e da fertilidade do solo visando sistemas sustentáveis de produção. *In*: PROCHNOW, L.I. *et al.* (Org.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba, SP: International Plant Nutrition Institute – Brasil (IPNI), v. 1, p. 383-420, 2010.

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

VEZZANI, F. M.; CONCEIÇÃO, P. C.; MELLO N. A.; e DIECKOW, J. Matéria Orgânica e Qualidade do Solo. *In*: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo, ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, p. 483-493, 2008.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. **O solo como sistema**. Curitiba: Ed. Dos autores, 104p., 2011. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355291/11341263/Livro+-+O+solo+como+sistema.pdf/2510553b-92f3-421d-887e-159910764e0e?version=1.0>. Acesso em: 11 dez. 2022.

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

Reflexões finais

As funções desempenhadas pela matéria orgânica do solo são diversas e refletem não apenas a complexidade de sua constituição, mas também o resultado das interações com outras características do solo, cujos efeitos benéficos dificilmente poderiam ser alcançados pelo uso isolado de qualquer insumo químico.

O conhecimento sobre os efeitos da MOS nas propriedades do solo, bem como sobre os princípios básicos para sua conservação, é essencial para a elaboração de estratégias eficazes no manejo do ambiente de produção agrícola.

Espera-se que essas informações sejam úteis aos profissionais da área agrícola e também contribuam para a conscientização do público em geral sobre o papel da MOS na qualidade e na preservação da capacidade produtiva do solo.



Este livro foi composto na fonte Louis George Cafe Light, no formato 15x22cm, com 76 páginas, em e-book formato pdf.

Maio de 2025

A estabilidade do sistema de produção está relacionada à sua capacidade de manter um nível aceitável de produtividade no longo prazo, ou seja, sua sustentabilidade. "Matéria Orgânica do Solo: Bases para o seu Manejo em Sistemas de Produção Vegetal" é um livro que aborda de forma teórica e prática sobre as características e efeitos da matéria orgânica do solo (MOS) sobre a qualidade do solo, bem como sobre técnicas de manejo para conservação da MOS para garantir a sustentabilidade do ambiente de produção, podendo ser utilizado por estudantes, pesquisadores, técnicos e agricultores.

A obra é do tipo monografia colaborativa, em que cada capítulo é uma contribuição coletiva de todos os autores. Inicia com uma introdução aos aspectos gerais da MOS em sistemas de produção vegetal, destacando a sua composição química, seus benefícios e seu papel na manutenção da capacidade produtiva do solo. Em seguida, os autores explicam com detalhes como ocorre a compartimentalização da MOS, decorrente de suas transformações. O livro aborda também sobre a influência da MOS sobre as propriedades do solo e sobre os princípios e técnicas utilizados para o manejo e conservação do carbono orgânico do solo e ainda sobre o uso da MOS como indicador de qualidade do solo e de estabilidade dos sistemas de produção.

Com uma abordagem científica, porém acessível, este livro contribui para uma melhor compreensão do papel da MOS nos sistemas de produção vegetal, facilitando a adoção de práticas que garantam a manutenção da capacidade produtiva dos solos.

