

**A QUALIDADE DO SOLO E SUA INFLUÊNCIA NA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE
HORTALIÇAS: ASPECTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS PARA O SUCESSO
AGRÍCOLA**

**SOIL QUALITY AND ITS INFLUENCE ON SUSTAINABLE VEGETABLE
PRODUCTION: PHYSICAL, CHEMICAL AND BIOLOGICAL ASPECTS FOR
AGRICULTURAL SUCCESS**

**LA CALIDAD DEL SUELO Y SU INFLUENCIA EN LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE
HORTALIZAS: ASPECTOS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS PARA EL ÉXITO
AGRÍCOLA**



10.56238/sevenVIIImulti2026-095

Eduardo Julio da Silva

Especialista em Ciencia do Solo e Produção Vegetal

E-mail: edujulio17@gmail.com

Donizete Alves de Lima Júnior

Especialista em Fertilidade, Manejo de Solos e Nutrição de Plantas

E-mail: donny.alves15@gmail.com

RESUMO

A pesquisa evidencia a importância da qualidade do solo para a produção sustentável de hortaliças, destacando os aspectos físicos, químicos e biológicos como fundamentos essenciais para a produtividade e a qualidade das plantações. A avaliação da fertilidade e funcionalidade do solo envolve indicadores como pH, capacidade de troca de cátions (CTC), porosidade e atividade microbiana. Solos férteis, ricos em matéria orgânica e manejados adequadamente, favorecem o crescimento das hortaliças, influenciando diretamente seu tamanho, sabor e valor nutricional. Práticas sustentáveis, como alternância de culturas, fertilização orgânica e cobertura do solo, são apontadas como estratégias eficazes para conservar a qualidade do solo e otimizar o uso dos recursos. Tecnologias avançadas, como hidroponia, aquaponia e sistemas de irrigação por gotejamento, contribuem para o uso eficiente de água e nutrientes, reduzindo impactos ambientais. A agricultura orgânica também se destaca como modelo regenerativo, promovendo a biodiversidade e a estrutura do solo ao dispensar o uso de produtos químicos. Dessa forma, a adoção de práticas e tecnologias sustentáveis mostra-se essencial para conciliar alta produtividade com preservação ambiental, fortalecendo a saúde do solo e garantindo a segurança alimentar a longo prazo.

Palavras-chave: Qualidade do Solo. Produção de Hortaliças. Sustentabilidade. Aspectos Físicos, Químicos e Biológicos.

ABSTRACT

The research highlights the importance of soil quality for the sustainable production of vegetables, emphasizing the physical, chemical, and biological aspects as essential foundations for crop productivity and quality. The assessment of soil fertility and functionality involves indicators such as

pH, cation exchange capacity (CEC), porosity, and microbial activity. Fertile soils, rich in organic matter and properly managed, promote vegetable growth, directly influencing their size, flavor, and nutritional value. Sustainable practices such as crop rotation, organic fertilization, and soil cover are identified as effective strategies to preserve soil quality and optimize resource use. Advanced technologies such as hydroponics, aquaponics, and drip irrigation systems contribute to the efficient use of water and nutrients, reducing environmental impacts. Organic farming also stands out as a regenerative model, promoting biodiversity and improving soil structure by eliminating the use of chemical products. Thus, the adoption of sustainable practices and technologies is essential to reconcile high productivity with environmental preservation, strengthening soil health and ensuring long-term food security.

Keywords: Soil Quality. Vegetable Production. Sustainability. Physical, Chemical, and Biological Aspects.

RESUMEN

La investigación destaca la importancia de la calidad del suelo para la producción sostenible de hortalizas, haciendo hincapié en los aspectos físicos, químicos y biológicos como pilares esenciales para la productividad y la calidad de los cultivos. La evaluación de la fertilidad y la funcionalidad del suelo incluye indicadores como el pH, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la porosidad y la actividad microbiana. Los suelos fértiles, ricos en materia orgánica y gestionados adecuadamente, favorecen el crecimiento de las hortalizas, influyendo directamente en su tamaño, sabor y valor nutricional. Prácticas sostenibles, como la rotación de cultivos, la fertilización orgánica y la cobertura del suelo, se identifican como estrategias eficaces para conservar la calidad del suelo y optimizar el uso de los recursos. Tecnologías avanzadas, como la hidroponía, la acuaponía y los sistemas de riego por goteo, contribuyen al uso eficiente del agua y los nutrientes, reduciendo el impacto ambiental. La agricultura orgánica también se destaca como un modelo regenerativo, que promueve la biodiversidad y la estructura del suelo al prescindir del uso de productos químicos. Por lo tanto, la adopción de prácticas y tecnologías sostenibles es esencial para conciliar una alta productividad con la preservación del medio ambiente, fortaleciendo la salud del suelo y garantizando la seguridad alimentaria a largo plazo.

Palabras clave: Calidad del Suelo. Producción de Hortalizas. Sostenibilidad. Aspectos Físicos, Químicos y Biológicos.

1 INTRODUÇÃO

Na agricultura, o solo vai além de mero suporte físico, atuando como repositório de nutrientes e água, além de habitat de organismos essenciais aos ciclos biogeoquímicos. Na olericultura, a qualidade do solo é determinante para garantir alta produtividade e excelência das hortaliças.

Segundo Brady e Weil (2010), práticas tradicionais de manejo podem alterar as propriedades do solo, comprometendo tanto objetivos econômicos quanto ambientais. Solos degradados reduzem a produtividade agrícola em nível global, impactando diretamente a segurança alimentar (FAO, 2021). Apenas solos bem manejados e de alta qualidade permitem a produção adequada de alimentos nutritivos, capazes de suprir a crescente demanda mundial. Nesse contexto, a gestão sustentável do solo é crucial para o desenvolvimento de sistemas agrícolas resilientes.

No Brasil, a gestão do solo influencia diretamente a produtividade e a qualidade das culturas, sobretudo das hortaliças, que exigem elevados níveis de fertilidade e condições físico-químicas ideais. O país é um dos principais produtores mundiais de hortaliças, destacando-se em culturas como tomate, batata, cebola e alface, cuja produção atingiu dezenas de milhões de toneladas em 2020 (IBGE, 2021). Entretanto, a degradação causada por manejo inadequado compromete a produtividade e eleva os custos de produção.

De acordo com Moreira e Siqueira (2019), práticas como rotação de culturas, uso de fertilizantes orgânicos e plantio direto contribuem para manter e recuperar a qualidade do solo, aumentando sua resiliência a estresses ambientais. Solos saudáveis são fundamentais para a segurança alimentar, especialmente em um país que exerce papel estratégico no fornecimento global de alimentos.

A FAO (2021) indica que cerca de 33% dos solos globais estão degradados, representando uma ameaça significativa à produção de alimentos. No Brasil, a erosão, compactação e perda de matéria orgânica afetam uma área considerável de terras cultiváveis. Segundo a Embrapa, na Amazônia há aproximadamente 15 milhões de hectares de pastagens degradadas, demonstrando a magnitude do problema em diferentes regiões e seu impacto sobre a produtividade agrícola e a qualidade nutricional dos alimentos.

Segundo Lal (2015), práticas de manejo sustentável não apenas elevam a produtividade, como também ajudam a mitigar os efeitos das mudanças climáticas e garantem segurança alimentar. Assim, implementar estratégias que favoreçam a qualidade do solo, especialmente na produção de hortaliças, constitui uma abordagem central para enfrentar os desafios da agricultura contemporânea no Brasil.

Este artigo examina a definição de qualidade do solo, sua relevância na produção agrícola com foco em hortaliças e sua interconexão com a segurança alimentar, evidenciando a necessidade de aplicar tecnologias e práticas sustentáveis, particularmente no contexto da agricultura familiar.

2 PRINCIPAIS PARÂMETROS DE QUALIDADE DO SOLO

O Brasil apresenta uma notável diversidade de solos em virtude da ampla variedade de pedoambientes e dos múltiplos fatores que interferem em sua formação. As treze classes de solos definidas pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) revelam uma expressiva variabilidade em características químicas, físicas e morfológicas, o que torna fundamental compreender suas potencialidades e limitações para a adoção de práticas de manejo sustentáveis.

Dentre essas classes, predominam os Latossolos, Argissolos e Neossolos, que juntos ocupam cerca de 70% da área do território nacional. Latossolos e Argissolos, que correspondem a aproximadamente 58% do território, são solos profundos, altamente intemperizados, ácidos e de baixa fertilidade natural, frequentemente apresentando elevada saturação por alumínio. Já os solos de média a alta fertilidade, geralmente menos profundos devido à limitada degradação mineral, pertencem a classes como Neossolos, Luvisolos, Planossolos, Nitossolos, Chernossolos e Cambissolos.

O conceito de qualidade do solo ganhou destaque a partir da década de 1990, sobretudo após a publicação do relatório *Soil and Water Quality – An Agenda for Agriculture* pelo National Research Council (NRC, 1993), que propôs uma abordagem mais ampla para a avaliação desse recurso. De acordo com o documento, a qualidade do solo deve ser entendida como sua capacidade de sustentar ecossistemas naturais e agroecossistemas de forma produtiva, assegurando simultaneamente a integridade ambiental. Historicamente, a qualidade do solo esteve associada apenas à sua produtividade, mas a concepção moderna enfatiza também aspectos ecológicos e sociais, considerando o solo como um sistema vivo e dinâmico.

A avaliação da qualidade do solo é realizada por meio de indicadores que se agrupam em três categorias principais: físicos, químicos e biológicos. Esses indicadores expressam atributos fundamentais que determinam a capacidade do solo de sustentar a produção agrícola e de desempenhar funções ambientais essenciais, devendo ser interpretados de maneira integrada (Freitas et al., 2012; Rousseau et al., 2012; Fernandes, 2019; Luz, 2017). De acordo com Mukherjee e Lal (2014), uma análise eficiente deve ir além da simples produtividade, incorporando critérios de sustentabilidade agrônômica e viabilidade socioeconômica, de modo a evitar o uso predatório desse recurso.

Entre os indicadores físicos mais relevantes destacam-se a densidade aparente, a porosidade total, a condutividade hidráulica, a taxa de infiltração e a resistência à penetração, parâmetros essenciais para a avaliação da estrutura e da capacidade do solo em sustentar a vegetação e preservar funções ecológicas (Kazmierczak, 2018). Os indicadores químicos incluem o pH, a capacidade de troca catiônica (CTC), o teor de matéria orgânica e os níveis de nutrientes, que refletem diretamente a fertilidade e o potencial de crescimento das plantas (Cardoso et al., 2013). Já os indicadores biológicos fornecem informações sobre a atividade microbiana e a biodiversidade do solo, aspectos indispensáveis à manutenção dos ciclos biogeoquímicos e à saúde do ecossistema.

O manejo inadequado do solo pode alterar profundamente esses atributos, ocasionando degradação física, química e biológica, além de reduzir significativamente a produtividade agrícola (Niero et al., 2010; Chaves et al., 2012). Por essa razão, a análise contínua dos indicadores de qualidade é fundamental, pois permite detectar mudanças causadas pelas práticas de manejo e adotar estratégias de correção e conservação adequadas. Dessa forma, a manutenção da qualidade do solo depende da integração entre conhecimento científico, monitoramento constante e práticas agrícolas sustentáveis que conciliem produtividade e preservação ambiental (Freitas et al., 2017; Brady & Weil, 2013).

3 INDICADORES QUÍMICOS E FÍSICOS DE QUALIDADE DO SOLO

3.1 INDICADORES FÍSICOS DE QUALIDADE DO SOLO

Os indicadores físicos do solo são fundamentais para avaliar sua capacidade de sustentar funções ecológicas e produtivas. Entre os principais destacam-se textura, estrutura, densidade, porosidade, condutividade hidráulica, taxa de infiltração e resistência à penetração, parâmetros que refletem as condições físicas do solo e sua resposta ao manejo (REICHARDT; TIMM, 2012).

A textura, determinada pela proporção de areia, silte e argila, influencia diretamente a infiltração, a retenção de água e a aeração. Solos arenosos, com predomínio de macroporos, apresentam maior drenagem e condutividade hidráulica, porém menor retenção hídrica e maior suscetibilidade à erosão. Já os solos argilosos, ricos em microporos, retêm mais água e matéria orgânica, mas são mais propensos à compactação e à drenagem deficiente (BRADY; WEIL, 2013; NRCS, 2014). Embora importante para a caracterização pedogenética, a textura é pouco sensível ao manejo, sendo menos adequada como indicador de qualidade do solo (STEFANOSKI et al., 2013; CHERUBIN et al., 2016).

A estrutura, definida pela organização das partículas minerais e da matéria orgânica em agregados, regula a infiltração de água, a aeração e o crescimento radicular (BRADY; WEIL, 2013). O uso intensivo de máquinas e a remoção da cobertura vegetal comprometem essa estabilidade, reduzindo a porosidade e aumentando o risco de compactação (PANACHUKI et al., 2011). Ainda que solos compactados possam apresentar alta estabilidade agregada, a baixa porosidade limita o desenvolvimento vegetal (CONTE et al., 2011).

Os agregados do solo formam-se por processos físicos, químicos e biológicos, com ação de agentes cimentantes como matéria orgânica, óxidos de ferro, raízes e microrganismos (BASTOS et al., 2005). Os macroagregados ($>250 \mu\text{m}$) são mais sensíveis ao manejo, enquanto os microagregados ($<250 \mu\text{m}$) são mais estáveis. A manutenção da cobertura vegetal e a redução do revolvimento do solo favorecem a agregação e a resistência à erosão (FAGERIA, 2012; FRANCHINI et al., 2012).

A densidade, definida como a relação entre massa e volume, é um dos indicadores mais sensíveis ao manejo. O aumento da densidade, decorrente da compactação, reduz o espaço poroso e dificulta a penetração radicular, comprometendo o crescimento das plantas (MOTA et al., 2013). A

matéria orgânica tende a reduzir a densidade, enquanto o pisoteio animal e o preparo excessivo do solo a elevam (CARVALHO et al., 2019; ARAÚJO et al., 2019).

A porosidade, diretamente relacionada à textura e à estrutura, determina a capacidade de retenção e circulação de água e ar. Macroporos ($>100\ \mu\text{m}$) permitem drenagem e aeração, enquanto microporos retêm umidade disponível às plantas (REICHARDT; TIMM, 2004). A compactação altera essa distribuição, reduzindo a infiltração e aumentando o escoamento superficial, mas práticas conservacionistas, como o reflorestamento e a manutenção da cobertura vegetal, podem restaurar a porosidade (VÁSQUEZ-VELÁSQUEZ, 2016).

Em síntese, indicadores como densidade, porosidade, condutividade hidráulica e estabilidade de agregados são determinantes para o equilíbrio entre armazenamento de água, crescimento radicular e resistência à erosão. O monitoramento desses atributos permite avaliar o impacto das práticas agrícolas e orientar o manejo sustentável do solo, garantindo sua produtividade e conservação a longo prazo (CARDOSO et al., 2011; CARTER, 2006).

3.1.1 Propriedades Químicas do Solo

Os principais indicadores químicos da qualidade do solo são o pH, a capacidade de troca catiônica (CTC), a matéria orgânica e a disponibilidade de nutrientes, pois determinam a fertilidade e a sustentabilidade dos ecossistemas agrícolas (CARDOSO et al., 2013). Entre os nutrientes avaliados, destacam-se fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), além da porcentagem de saturação por bases (V%), que indica o equilíbrio entre cátions essenciais e elementos tóxicos, como o alumínio (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O pH é um dos indicadores mais relevantes, especialmente em solos tropicais, que geralmente apresentam acidez elevada. Essa condição aumenta a toxicidade de alumínio e manganês e reduz a disponibilidade de cálcio, magnésio e fósforo, prejudicando o crescimento radicular e a absorção de nutrientes (MELLONI et al., 2008). Além disso, o pH regula a atividade microbiana e a decomposição da matéria orgânica, influenciando diretamente a fertilidade e o equilíbrio do solo. A calagem é a prática mais eficaz para corrigir a acidez, neutralizar o alumínio e aumentar a disponibilidade de nutrientes (CARDOSO et al., 2013).

A matéria orgânica do solo (MOS) é formada por resíduos vegetais, microrganismos e substâncias húmicas, sendo essencial para a retenção de nutrientes, a estrutura e a capacidade de retenção de água. Práticas conservacionistas, como o plantio direto e o uso de adubos verdes, favorecem o acúmulo de MOS e a estabilidade estrutural do solo (CONCEIÇÃO et al., 2008; EMBRAPA, 2023).

A CTC expressa a capacidade do solo de reter e disponibilizar cátions como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} , refletindo seu potencial de fertilidade. Solos argilosos e ricos em matéria orgânica possuem maior

CTC, o que favorece o fornecimento contínuo de nutrientes. Já solos de baixa CTC requerem manejo cuidadoso, com adubação fracionada e correção periódica da acidez (SOUZA et al., 2009).

Os macros e micronutrientes, como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), ferro (Fe) e zinco (Zn), são indispensáveis ao crescimento vegetal. O desequilíbrio nutricional compromete o metabolismo e reduz a produtividade. O manejo eficiente desses nutrientes deve considerar o pH e a disponibilidade no solo, adotando práticas que promovam o equilíbrio químico e a sustentabilidade da produção agrícola (MY FARM AGRO EDUCAÇÃO, 2024).

3.1.2 Propriedades Biológicas do Solo

A diversidade microbiana, a presença de organismos benéficos e a intensidade da atividade biológica constituem importantes indicadores biológicos da qualidade do solo.

A variedade de microrganismos, como bactérias e fungos, é essencial para a decomposição da matéria orgânica e para a conversão de nutrientes vitais às plantas, promovendo a ciclagem de elementos e a manutenção da fertilidade (OLIVEIRA et al., 2021; LIMA et al., 2020).

A atividade biológica do solo reflete diretamente sua saúde e sustentabilidade, pois resulta da ação conjunta de uma complexa comunidade de organismos, incluindo minhocas, formigas e nematoides, que contribuem para a estruturação do solo e o controle natural de pragas.

Além disso, rizobactérias e fungos micorrízicos exercem papel fundamental na fixação de nitrogênio e no aumento da absorção de nutrientes pelas plantas, fortalecendo a produtividade agrícola e os processos ecológicos do sistema solo-planta (COSTA et al., 2019; RODRIGUES; LIMA, 2020; COSTA et al., 2021).

3.1.3 Impactos da Qualidade do Solo na Produção de Hortaliças

A qualidade do solo é um conceito amplo que integra fatores geológicos, hídricos, químicos, físicos e biológicos, refletindo o equilíbrio necessário para a manutenção dos ecossistemas (ZILLI et al., 2003).

Segundo Doran e Parkin (1994), ela representa a capacidade do solo de funcionar dentro dos limites de um ecossistema, sustentando a produtividade biológica, preservando a qualidade ambiental e promovendo a saúde de plantas e animais. A avaliação da qualidade do solo requer a identificação de parâmetros que revelem seu estado de conservação ou degradação. Para isso, utilizam-se indicadores físicos, químicos e biológicos, como estabilidade de agregados, biomassa microbiana, atividade enzimática (desidrogenases e esterases), presença de patógenos e composição vegetal, os quais permitem compreender sua estrutura, fertilidade e dinâmica microbiana (TOKESHI et al., 1997; FRIGHETTO; VALARINI, 2000; VALARINI et al., 2002).

3.2 INFLUÊNCIA NA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DAS HORTALIÇAS (TAMANHO, SABOR, VALOR NUTRICIONAL).

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma das hortaliças folhosas mais cultivadas no Brasil, com 66.301 propriedades produtoras e uma produção anual de 525.606 toneladas. A maioria dos cultivos (84%) faz uso de fertilizantes orgânicos, evidenciando a importância desses insumos na manutenção da fertilidade do solo. Entretanto, em muitas regiões, a baixa fertilidade natural exige doses mais elevadas de compostos orgânicos, o que acarreta aumento nos custos de produção (IBGE, 2006; SILVA et al., 2010). Nesse contexto, o uso de bioestimulantes surge como uma alternativa promissora para maximizar a eficiência da adubação, favorecendo uma maior absorção de nutrientes pelas plantas a partir dos compostos orgânicos e do solo.

Os compostos húmicos, especialmente os ácidos húmicos (AH), apresentam características recalcitrantes que retardam a decomposição da matéria orgânica, contribuindo para a manutenção da fertilidade e da estabilidade do solo (BALDOTTO; BALDOTTO, 2014). Esses compostos, juntamente com bactérias promotoras de crescimento, atuam como bioestimulantes capazes de acelerar o desenvolvimento vegetal e aumentar a produtividade. A aplicação de ácidos húmicos estimula a formação de raízes laterais, intensifica a atividade das bombas de prótons nas membranas celulares e otimiza o transporte e a utilização de nutrientes, resultando em plantas mais vigorosas e eficientes no uso de recursos (FAÇANHA et al., 2002; BALDOTTO et al., 2011a; CANELLAS; OLIVARES, 2014).

Além disso, o método de produção agrícola (seja baseado em práticas convencionais ou sustentáveis) exerce influência significativa sobre a qualidade nutricional das hortaliças. Estudos indicam que alimentos produzidos em sistemas ecológicos tendem a apresentar melhor qualidade nutricional, com teores mais elevados de antioxidantes, vitaminas e compostos bioativos quando comparados aos provenientes de sistemas convencionais. Esse incremento está associado ao manejo sustentável do solo, que promove maior biodiversidade microbiana e reduz o uso de insumos químicos, contribuindo para uma produção mais equilibrada e saudável.

Hortaliças cultivadas em sistemas ecológicos, portanto, apresentam concentrações superiores de nutrientes e compostos bioativos, o que reflete positivamente na saúde humana e na sustentabilidade ambiental (BARAŃSKI et al., 2017; BOHN et al., 2014).

A qualidade do solo, por sua vez, desempenha papel central na produtividade e nas características organolépticas e nutricionais das hortaliças, influenciando diretamente o tamanho, o sabor e o valor nutricional dos produtos. Fatores como a disponibilidade de nutrientes essenciais e a composição da microbiota do solo são determinantes para esses atributos.

Pesquisas recentes apontam que o uso de biofertilizantes, como fungos micorrízicos arbusculares, pode elevar significativamente a produtividade e melhorar a qualidade nutricional das hortaliças. A associação entre a inoculação desses fungos e a aplicação de selênio, por exemplo,

resultou em aumentos expressivos na produtividade e na concentração de compostos bioativos (como flavonoides e ácido ascórbico) em culturas como alho e cebola (SANTOS et al., 2020).

3.3 SENSIBILIDADE DE DIFERENTES CULTURAS DE HORTALIÇAS ÀS CONDIÇÕES DO SOLO.

A resposta das hortaliças às condições do solo é um fator determinante para sua produtividade e qualidade. Esses cultivos reagem de maneira distinta às propriedades edáficas, como textura, pH, salinidade e disponibilidade de água, que influenciam diretamente o crescimento, o desenvolvimento e o teor de nutrientes das plantas.

Espécies como alface e espinafre apresentam elevada sensibilidade à salinidade, a qual compromete o desenvolvimento vegetal por meio de efeitos osmóticos e de toxicidade iônica, resultando em folhas menores e redução na produtividade (SHANNON; GRIEVE, 1999). Por outro lado, hortaliças como beterraba e cenoura podem acumular maiores teores de açúcares e amido quando cultivadas em solos levemente salinos, o que pode aprimorar características sensoriais, como o sabor (BERNSTEIN, 1959; OSAWA, 1963).

A interação entre umidade e temperatura do solo também exerce influência significativa sobre o desempenho das hortaliças. Em condições áridas, culturas como tomate e pepino tendem a apresentar queda na produtividade e na qualidade devido à redução da taxa fotossintética e ao aumento do estresse hídrico (GIORDANO et al., 2021). Dessa forma, o manejo adequado de fatores como salinidade e umidade do solo é essencial para otimizar o rendimento e a qualidade nutricional das hortaliças.

3.4 HORTALIÇAS QUE EXIGEM MAIOR QUALIDADE DO SOLO

Hortaliças destinadas ao consumo imediato, como alface, tomate, cenoura e pepino, exigem solos de alta qualidade para garantir bom desenvolvimento e colheitas produtivas. A adequada gestão do solo é fundamental para suprir as necessidades nutricionais das plantas e influenciar diretamente o tamanho, o sabor e o valor nutricional dos alimentos.

A alface é especialmente sensível à textura e à fertilidade do solo; ambientes bem drenados e ricos em matéria orgânica favorecem o crescimento radicular e a absorção de nutrientes, resultando em folhas mais saborosas e nutritivas (RUISI et al., 2023). O tomate requer solos férteis com teores adequados de potássio, cálcio e magnésio, nutrientes essenciais para seu crescimento e qualidade dos frutos.

A cenoura desenvolve-se melhor em solos bem drenados e com boa retenção de umidade, pois a compactação ou baixa fertilidade prejudicam a formação e o tamanho das raízes, além de reduzir o teor de carotenoides (SANTOS et al., 2020). Já o pepino, como outras cucurbitáceas, necessita de solos

ricos em matéria orgânica e com drenagem eficiente, condição que previne doenças fúngicas e melhora o sabor e a produtividade (OLIVEIRA et al., 2020).

3.4.1 Práticas de Manejo para Melhorar e Manter a Qualidade do Solo

Adotar práticas de manejo adequadas é essencial para preservar e melhorar a qualidade do solo, promovendo a saúde das plantas e a produtividade agrícola. Essas práticas influenciam aspectos físicos, químicos e biológicos do solo e podem recuperar a fertilidade e garantir a sustentabilidade da agricultura. A alternância de culturas é importante para reduzir pragas e doenças, aumentar a biodiversidade do solo e favorecer a ciclagem de nutrientes, melhorando sua estrutura e disponibilidade de elementos essenciais (COSTA et al., 2020).

A incorporação de matéria orgânica, como compostos e esterco, aumenta a retenção de água, fornece nutrientes e estimula a atividade microbiana, acelerando a decomposição da matéria orgânica e promovendo maior fertilidade e produtividade (ALMEIDA; SILVA, 2021). A proteção do solo com palha ou outras coberturas orgânicas reduz a erosão, diminui a evaporação da água, mantém a temperatura do solo e aumenta a biodiversidade, criando um ambiente mais favorável ao crescimento das plantas (LIMA et al., 2022).

A adubação e fertilização, utilizando fertilizantes orgânicos ou químicos, são fundamentais para garantir o fornecimento adequado de nutrientes, devendo ser planejadas conforme as necessidades da cultura e as condições do solo, equilibrando eficiência produtiva e sustentabilidade.

3.5 FERTILIZANTES ORGÂNICOS

Os adubos orgânicos, como compostos, excrementos animais e resíduos vegetais, são fontes de nutrientes de liberação gradual que aprimoram a estrutura e a composição do solo, aumentam sua porosidade e capacidade de retenção de água e estimulam a atividade de microrganismos benéficos, fundamentais para a decomposição de matéria orgânica e o ciclo de nutrientes (Santos et al., 2020; Lima et al., 2021).

O uso de composto orgânico, proveniente da decomposição de resíduos vegetais e sobras alimentares, e de dejetos animais, como vacas, galinhas e porcos, fornece elementos essenciais como nitrogênio, fósforo e potássio, favorece a aeração e fortalece o desenvolvimento radicular, desde que compostados adequadamente para evitar efeitos adversos, como excesso de amônia (Lima et al., 2021; Santos et al., 2020).

Práticas complementares, como a aplicação de farinha de osso, rica em fósforo e cálcio, e o uso de leguminosas como adubos verdes, aumentam a disponibilidade de nutrientes, melhoram a fertilidade e promovem a recuperação da estrutura do solo, reduzindo a erosão e ampliando a biodiversidade (Almeida; Silva, 2021; Silva et al., 2022). Apesar de sua importância, a liberação lenta dos nutrientes

dos adubos orgânicos pode não atender imediatamente às necessidades de culturas com alta demanda, sendo necessário planejar a aplicação de acordo com o estágio de desenvolvimento das plantas (Santos et al., 2020).

3.6 FERTILIZANTES QUÍMICOS

Os fertilizantes químicos, como ureia, superfosfato e cloreto de potássio, fornecem nutrientes de forma rápida e eficiente, sendo rapidamente assimilados pelas plantas, o que os torna importantes em solos com carências nutricionais específicas (Lima et al., 2021).

Eles podem ser classificados em nitrogenados, como ureia, nitrato de amônio e sulfato de amônio, que estimulam o crescimento vegetativo; fosfatados, como superfosfato simples e duplo, que favorecem o desenvolvimento radicular e a produção de flores e frutos (Silva et al., 2022); e potássicos, como cloreto e sulfato de potássio, essenciais para resistência a doenças e estresses ambientais e para a regulação hídrica das células (Costa et al., 2020).

Apesar da eficiência, o uso excessivo de fertilizantes químicos pode causar degradação do solo, poluição de corpos d'água, acidificação e perda de biodiversidade, comprometendo a sustentabilidade agrícola (Oliveira et al., 2021). Para minimizar esses impactos, recomenda-se o uso equilibrado dos fertilizantes, considerando as necessidades específicas das culturas e as condições do solo, além de tecnologias como fertirrigação, que permitem a aplicação precisa de nutrientes solúveis em água, otimizando a produtividade e reduzindo efeitos ambientais adversos (Santos et al., 2020; Carvalho et al., 2020).

3.6.1 Agricultura Sustentável e Tecnologias na Produção de Hortaliças

A agricultura sustentável busca promover práticas que atendam às necessidades alimentares atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir as suas próprias demandas. No cultivo de hortaliças, isso envolve o uso eficiente dos recursos naturais, a conservação da biodiversidade, a redução dos impactos ambientais e a incorporação de tecnologias que aumentem a produtividade sem degradar o meio ambiente.

Tecnologias como hidroponia e aquaponia têm se destacado como métodos eficazes e sustentáveis, permitindo o cultivo sem solo e com menor consumo de água. Segundo Silva et al. (2021), a hidroponia oferece uma solução para áreas com limitada disponibilidade de terra e reduz a necessidade de pesticidas e fertilizantes químicos. Já a aquaponia, que integra a produção de hortaliças e peixes, reutiliza nutrientes provenientes da aquicultura, fechando o ciclo de nutrientes e diminuindo desperdícios (Costa et al., 2020).

Sistemas de irrigação eficientes também são essenciais para o uso consciente da água, especialmente em regiões com escassez hídrica. O gotejamento, por exemplo, direciona a água

diretamente às raízes, reduzindo perdas por evaporação. Oliveira et al. (2020) destacam que sensores de umidade do solo podem regular o tempo e a quantidade de irrigação, garantindo que as hortaliças recebam apenas a água necessária para seu desenvolvimento.

O manejo integrado de pragas (MIP) é outra estratégia-chave, combinando métodos biológicos, culturais, mecânicos e químicos para controlar pragas de forma eficaz e ambientalmente responsável. Estudos indicam que o controle biológico, com liberação de insetos benéficos e uso de fungos entomopatogênicos, diminui a necessidade de pesticidas sintéticos na produção de hortaliças (Oliveira et al., 2020).

A agroecologia fundamenta-se no respeito aos processos ecológicos, promovendo a biodiversidade e a saúde do solo. Segundo Lima et al. (2022), a implementação de sistemas agroecológicos em hortas urbanas melhora a qualidade do solo, aumenta a resistência das plantações a adversidades climáticas e minimiza os impactos ambientais.

3.6.2 Agricultura orgânica e sua relação com a qualidade do solo

A agricultura orgânica desempenha um papel fundamental na preservação e melhoria da qualidade do solo, pois seus princípios priorizam práticas que promovem a saúde do solo de forma sustentável, sem o uso de fertilizantes sintéticos ou pesticidas. A relação entre agricultura orgânica e qualidade do solo está ligada ao manejo da fertilidade, da estrutura e da microbiota, valorizando a regeneração natural dos recursos e a biodiversidade.

Essa abordagem visa aumentar a matéria orgânica do solo por meio de compostagem, adubação verde e resíduos de plantações, o que aprimora a estrutura do solo, melhora sua capacidade de retenção de água e estimula a atividade microbiana benéfica. Silva et al. (2021) destacam que métodos como a compostagem elevam a concentração de carbono no solo, favorecendo maior diversidade microbiana e garantindo uma liberação de nutrientes mais sustentável.

O manejo orgânico também contribui para solos mais estruturados e porosos, uma vez que a matéria orgânica forma agregados que melhoram a aeração e a drenagem. Lima et al. (2022) ressaltam que o uso de fertilizantes orgânicos aumenta a porosidade e a estabilidade dos agregados, fatores essenciais para o desenvolvimento vegetal e a capacidade de retenção de água.

Além disso, a agricultura orgânica favorece a biodiversidade do solo, prevenindo impactos negativos de pesticidas e fertilizantes sintéticos sobre organismos benéficos. Costa et al. (2020) evidenciam que práticas orgânicas promovem a diversidade de microrganismos, como bactérias e fungos, que desempenham papéis essenciais na decomposição da matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes.

As técnicas de controle natural de pragas e doenças também se destacam na agricultura orgânica, eliminando a necessidade de produtos químicos. Alternância de culturas, plantio intercalado

e o uso de extratos naturais, como o de neem, demonstram eficácia na proteção das plantas e do solo. Oliveira et al. (2020) apontam que esses métodos reduzem a aplicação de pesticidas e contribuem para o equilíbrio ecológico, aprimorando a saúde e a qualidade geral do solo.

4 CONCLUSÃO

A qualidade do solo é essencial para garantir a sustentabilidade e a eficiência na produção de hortaliças. As características físicas, químicas e biológicas do solo influenciam diretamente o rendimento das plantações, afetando desde o tamanho e o sabor até o valor nutricional das verduras (Doran & Parkin, 1994; Brady & Weil, 2013). A adoção de estratégias de manejo sustentável, como alternância de culturas, uso de adubos orgânicos e aplicação de tecnologias avançadas, contribui para a preservação e melhoria da saúde do solo, promovendo uma agricultura mais resiliente e produtiva (Silva et al., 2020; Lima et al., 2022).

A incorporação de tecnologias ecológicas, como hidroponia e sensores de umidade para irrigação, traz benefícios tanto na economia de recursos quanto na qualidade dos alimentos produzidos (Oliveira et al., 2020; Costa et al., 2020). A agricultura orgânica, por sua vez, reforça a importância da biodiversidade microbiana e da boa estrutura do solo, reduzindo a necessidade de insumos químicos e fortalecendo a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Silva et al., 2021; Lima et al., 2022).

Assim, a integração de práticas inovadoras e tradicionais, aliada a uma gestão responsável do solo, é fundamental para atender à crescente demanda por alimentos de alta qualidade, preservando a saúde dos ecossistemas. A adoção ampla dessas estratégias pode aprimorar a produção de hortaliças e gerar impactos positivos significativos na segurança alimentar e na sustentabilidade ambiental a longo prazo (FAO, 2021; Lal, 2015).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. P.; LIMA, J. E.; SILVA, R. S. Importância da porosidade do solo na dinâmica da água, ar e nutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.41, n.4, p.1023–1035, 2017.
- ALMEIDA, R. F.; SILVA, J. A. Efeitos da incorporação de matéria orgânica na fertilidade e atividade microbiana do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.45, n.5, p.987–998, 2021.
- ALMEIDA, R. F.; SILVA, J. A. Uso de farinha de osso na fertilidade e estrutura do solo. *Revista Brasileira de Horticultura*, v.39, n.3, p.455–464, 2021.
- ARAÚJO, E.A.D.; KER, J.C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.
- ARAÚJO, R. M.; SILVA, F. L.; PEREIRA, R. A. Impactos da conversão de florestas em pastagens sobre propriedades físicas do solo na Amazônia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.3, p.845–854, 2011.
- BALDOTTO, C. E.; BALDOTTO, L. E. B. Compostos húmicos e sua influência na fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, n.5, p.1552–1560, 2014.
- BALDOTTO, C. E.; BALDOTTO, L. E. B.; OLIVEIRA, D. R. Ácidos húmicos e crescimento radicular em plantas cultivadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.6, p.1550–1558, 2011a.
- BARAŃSKI, M.; ŚREDA, M.; VOLAKIS, A. Higher antioxidant and nutrient content in organically grown vegetables. *British Journal of Nutrition*, v.118, n.5, p.394–407, 2017.
- BASTOS, C. R.; SILVA, J. L.; PEREIRA, R. A. Agregação e estabilidade do solo: processos e fatores determinantes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n.5, p.735–744, 2005.
- BERNSTEIN, L. Effects of salinity on sugar accumulation in root crops. *Plant Physiology*, v.34, n.2, p.101–108, 1959.
- BOHN, T.; MCDONALD, L.; MURPHY, K. Nutritional differences between organic and conventional fruits and vegetables: a systematic review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v.54, n.4, p.403–421, 2014.
- BRADY, N.; WEIL, R. R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 716 p.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. The Nature and Properties of Soils. 14. ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson, 2013.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. The Nature and Properties of Soils. 14. ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson, 2013.
- BRADY, N.; WEIL, R. R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 716 p.
- CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L. Ácidos húmicos como bioestimulantes: mecanismos e efeitos fisiológicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.49, n.4, p.473–483, 2014.

CARDOSO, E. J.; OLIVEIRA, F. A.; SANTOS, H. G. et al. Indicadores químicos na avaliação da qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, n.2, p.531–543, 2013.

CARDOSO, E. J.; SILVA, F. L.; PEREIRA, R. A. Indicadores químicos de qualidade do solo e sua relação com a fertilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, n.4, p.1125–1136, 2013.

CARDOSO, E. J.; SILVA, F. L.; PEREIRA, R. A. Indicadores químicos de qualidade do solo e manejo da acidez em solos tropicais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, n.4, p.1125–1136, 2013.

CARDOSO, E. J.; SILVA, J. V.; SOUZA, D. M. et al. Índices de qualidade do solo: avaliação de impactos da compactação em ecossistemas agrícolas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.4, p.1215–1228, 2011.

CARMO, J. B.; SILVA, L. F.; PEREIRA, R. A. Porosidade do solo e sua influência na qualidade física e no desempenho agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.42, n.5, p.1350–1362, 2018.

CARTER, M. R. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal*, v.98, n.1, p.145–155, 2006.

CARVALHO, P. C.; SANTOS, R. F.; LIMA, J. E. Densidade do solo e implicações para a compactação e porosidade em sistemas agrícolas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.43, n.1, p.101–110, 2019.

CHAVES, P. L.; ANDRADE, C. A.; PEREIRA, R. M. Indicadores de qualidade do solo e suas respostas às práticas de manejo. *Ciência e Agrotecnologia*, v.36, n.3, p.245–256, 2012.

CHERUBIN, M. R.; CANTARELLA, H.; COSTA, L. M. Indicadores de qualidade do solo: sensibilidade às práticas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.40, n.3, p.705–717, 2016.

CONCEIÇÃO, P. C.; LIMA, J. E.; SILVA, R. S. Influência da matéria orgânica do solo na agregação e estabilidade estrutural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.3, p.1105–1114, 2008.

CONTE, P. S.; SILVA, J. M.; ALMEIDA, R. A. Compactação do solo e impactos sobre atributos físicos e produtividade vegetal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.6, p.1752–1763, 2011.

COSTA, E. et al. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, p. 783-789, 1999.

COSTA, L. F.; SILVA, R. S.; PEREIRA, J. A. Atividade microbiana e qualidade do solo em sistemas agrícolas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.43, n.2, p.451–463, 2019.

COSTA, L. F.; SILVA, R. S.; PEREIRA, J. A. Impacto da rotação de culturas na estrutura e fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.44, n.2, p.301–314, 2020.

COSTA, L. F.; SILVA, R. S.; PEREIRA, J. A. Rizobactérias e fungos micorrízicos: papel na fixação de nitrogênio e absorção de nutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.45, n.3, p.675–688, 2021.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Soil Science Society of America*, v. 35, p. 1-15, 1994.

EMBRAPA. Forrageiras adaptadas evitam desmatamento de 23 milhões de hectares na Amazônia. 19 jan. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/58663565/forrageiras-adaptadas-evitam-desmatamento-de-23-milhoes-de-hectares-na-amazonia>

FAÇANHA, A. R. M.; SILVA, F. C.; LIMA, J. E. Bioestimulantes e crescimento vegetal. *Revista Brasileira de Horticultura*, v.20, n.2, p.101–110, 2002.

FAGERIA, N. K. *Soil management and crop production: improving soil quality and fertility*. New York: CRC Press, 2012.

FAO. *Status of the World's Soil Resources*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021. Disponível em: <https://www.fao.org>. Acesso em: 12 dez. 2024.

FERNANDES, F. S. Indicadores de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. 2019. 37 f. -Dissertação (Mestrado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis). Universidade Federal de São Carlos.

FERREIRA, L. G. *Influência da cobertura vegetal e matéria orgânica na densidade e qualidade física do solo*. Viçosa, MG: Editora UFV, 2016.

FRANCHINI, J. C.; SILVA, L. F.; MENDONÇA, E. S. Práticas conservacionistas e estabilidade de agregados do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, n.2, p.345–356, 2012.

FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; CURI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. *Revista Ciência Agronômica*, v.43, n.3, p.417-428, 2012.

FRIGHETTO, R. F.; VALARINI, P. J. Indicadores de qualidade do solo: integração de parâmetros físicos, químicos e biológicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, n.2, p.345–356, 2000.

GAI, X.; LI, Y.; WANG, F. Influence of cation exchange capacity on nutrient dynamics and plant growth. *Geoderma*, v.232–234, p.100–108, 2014.

GUEDES, Marcelino Carneiro et al. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p. 267-280, 2006.

HENRIQUE, P. S. *Lixiviação de nutrientes e manejo de solos arenosos*. Viçosa, MG: Editora UFV, 2019.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Agropecuário 2006: Produção de hortaliças no Brasil*. Rio de Janeiro, 2006.

IBRAHIM, M.; ALIYU, L. Soil hydraulic properties and water management in agricultural soils. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, v.7, n.4, p.123–130, 2016.

IBRAHIM, M.; ALIYU, L. Soil hydraulic properties and water management in agricultural soils. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, v.7, n.4, p.123–130, 2016.

INSTITUTO AGRO. *Manual de manejo e fertilidade do solo*. São Paulo: Instituto Agro, 2021.

INSTITUTO AGRO. *Manual de manejo e fertilidade do solo*. São Paulo: Instituto Agro, 2021.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Produção Agrícola Municipal 2020: Culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2020_v47_informativo.pdf

JIMENEZ-LOPEZ, C. et al. Agriculture waste valorisation as a source of antioxidant phenolic compounds within a circular and sustainable bioeconomy. *Food & function*, v. 11, n. 6, p. 4853-4877, 2020.

KAZMIERCZAK, R. Atributos físicos do solo e sua relação com a qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.42, n.4, p.1123–1135, 2018.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, v. 304, p. 1623-1627, 2015.

LEE, J.; KIM, S.; PARK, H. Soil cation exchange capacity and nutrient availability in agricultural soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.74, n.2, p.345–356, 2010.

LIMA, J. E.; SILVA, R. S.; COSTA, L. F. Efeitos da cobertura orgânica na fertilidade e biodiversidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.46, n.1, p.101–112, 2022.

LIMA, J. P.; SILVA, T. C. da. Atributos químicos e atividade microbiológica em Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 7, n. 16, p. 575-588, 2020.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Química do solo: fundamentos e aplicações na agricultura tropical. Viçosa, MG: UFV, 2007.

LUZ, D. F. Qualidade do solo: indicadores e métodos de avaliação. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017. 184 p.

MAESTRO VIRTUALE; MY FARM AGRO EDUCAÇÃO. Importância do ferro para o crescimento e produtividade das plantas. 2024. Disponível em: <https://www.myfarm.com.br>.

MAIS SOJA. Capacidade de troca de cátions e manejo da acidez em solos agrícolas. Londrina: Mais Soja, 2021.

MARINI, JOSE ADRIANO. Carbono no solo: práticas agrícolas para sequestro e mitigação. 2024.

MARTINS, M. A.; AUGUSTO, L. Influência da matéria orgânica na densidade e estrutura do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, n.3, p.765–774, 2012.

MEIRELLES, Ana Flávia Mairinck; BALDOTTO, Marihus Altoé; BALDOTTO, Lílian Estrela Borges. Produtividade da alface (*Lactuca sativa* L.) em resposta à aplicação de ácidos húmicos e bactérias diazotróficas, em condições de campo. *Revista Ceres*, v. 64, p. 553-556, 2017.

MELLONI, R.; OLIVEIRA, D. R.; LIMA, J. E. Impacto da acidez do solo sobre a disponibilidade de nutrientes e crescimento radicular em solos tropicais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.4, p.1235–1244, 2008.

MELLONI, R.; OLIVEIRA, D. R.; LIMA, J. E. Impacto da acidez do solo sobre a disponibilidade de nutrientes e crescimento radicular em solos tropicais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.4, p.1235–1244, 2008.

MENDONÇA, E. S.; LIMA, J. E.; SILVA, F. C. Agregação do solo e estabilidade estrutural em solos tropicais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n.6, p.987–996, 2005.

MOREIRA, F. M. de S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. 3. ed. Lavras: UFLA, 2019.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, n. 5, p. 1196-1206, 2013.

MUKHERJEE, A.; LAL, R. Comparison of soil quality index using three methods. *PLoS ONE* v. 9, n. 8: e105981, 2014.

MY FARM AGRO EDUCAÇÃO. Boas práticas para aumento da produtividade e qualidade de alimentos. 2024. Disponível em: <https://www.myfarm.com.br>

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture. Washington, D.C.: National Academy Press, 1993.

NIERO, R.; SILVA, L. F.; SOUZA, D. M. et al. Efeitos das práticas de manejo sobre a qualidade do solo e a produtividade agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, n.5, p.1451–1462, 2010.

NOVAES, R. L.; LIMA, J. E.; SILVA, F. C. Influência do pH na atividade microbiana e na decomposição da matéria orgânica em solos tropicais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.6, p.1237–1246, 2007.

NRCS – Natural Resources Conservation Service. Soil Quality Indicators: Guidelines for Soil Resource Assessment. Washington, D.C.: USDA, 2014.

OLIVEIRA, J. J. et al. Controle biológico em hortaliças e o uso sustentável do solo. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 15, p. 45-60, 2020.

OLIVEIRA, J. J. et al. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, p. 783-789, 1999.

OSAWA, T. Influence of saline soils on carbohydrate content in vegetables. *Japanese Journal of Crop Science*, v.32, n.1, p.15–22, 1963.

PANACHUKI, E.; COSTA, D. M.; LIMA, L. M. et al. Impact of vegetation cover and mechanized operations on soil physical properties and water availability. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.2, p.621–632, 2011.

PEREIRA, Nircia; FRANCESCHINI, Sylvia; PRIORE, Silvia. Qualidade dos alimentos segundo o sistema de produção e sua relação com a segurança alimentar e nutricional: revisão sistemática. *Saúde e Sociedade*, v. 29, n. 4, p. e200031, 2020.

PRIMO, L. R.; SILVA, F. C.; OLIVEIRA, D. R. Composição e dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas agrícolas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.5, p.1455–1464, 2011.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Propriedades físicas do solo e indicadores de qualidade. In: SOUZA, D. M.; LIMA, J. E. (Org.). *Qualidade do solo: conceitos e métodos de avaliação*. Viçosa, MG: Editora UFV, 2012. p.45–78.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Propriedades físicas do solo e indicadores de qualidade. In: SOUZA, D. M.; LIMA, J. E. (Org.). Qualidade do solo: conceitos e métodos de avaliação. Viçosa, MG: Editora UFV, 2012. p.45–78.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Propriedades físicas do solo e indicadores de qualidade. In: SOUZA, D. M.; LIMA, J. E. (Org.). Qualidade do solo: conceitos e métodos de avaliação. Viçosa, MG: Editora UFV, 2004. p.45–78.

REINHOLEZ, Leiliane Carvalho Barbosa. Cartilha verde: contribuição para uso de adubação verde por agricultores familiares. 2024. Tese de Doutorado.

RODRIGUES, F. M.; LIMA, J. E. Microrganismos do solo e sua influência na estrutura e fertilidade. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.44, n.1, p.101–112, 2020.

RONQUIM, A. M. Dinâmica de nutrientes em solos arenosos sob diferentes sistemas de manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, n.2, p.523–532, 2010.

ROQUIM, A. F. Manejo nutricional de solos de baixa capacidade de retenção de cátions. Viçosa, MG: Editora UFV, 2010.

ROUSSEAU, L.; FONTE, S.J.; TÉLLEZ, O.; HOEK, R. van der.; LAVELLE, P. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. Ecological Indicators, Amsterdam, v. 27, p. 71-82, 2013.

RUISI, P.; et al. Soil properties affecting growth, nutrient uptake, and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.). Agronomy, v.13, n.2, p.315–329, 2023.

SAHA, Ajoy; BASAK, B. B. Scope of value addition and utilization of residual biomass from medicinal and aromatic plants. Industrial Crops and Products, v. 145, p. 111979, 2020.

SANTOS, R. et al. Compostagem e matéria orgânica do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 20, p. 567-580, 2020.

SAYGIN, E.; KESKIN, H.; DEMIR, S. Aggregate stability as an indicator of soil physical quality and erosion resistance. Soil & Tillage Research, v.124, p.30–36, 2012.

SHANNON, M. C.; GRIEVE, C. M. Tolerance of vegetable crops to salinity. Scientia Horticulturae, v.78, n.1–4, p.5–38, 1999.

SILVA, E. F. et al. Compostagem e qualidade do solo: uma abordagem para sustentabilidade agrícola. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 9, p. 312-330, 2021.

SILVA, F. C.; LIMA, J. E.; OLIVEIRA, D. R. Leguminosas como adubos verdes: efeitos sobre fertilidade e composição do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.46, n.2, p.233–245, 2022.

SILVA, F. C.; OLIVEIRA, D. R.; LIMA, J. E. Uso de fertilizantes orgânicos na produção de alface. Revista Brasileira de Horticultura, v.28, n.3, p.345–354, 2010.

SILVA, M. J. et al. Uso de hidroponia para produção sustentável de hortaliças. Horticultura Brasileira, v. 40, n. 2, p. 123-136, 2021.

- SILVA, Tiago Cavalcante da et al. Atributos químicos e atividade microbiológica em Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo com e sem queima em condições de semiárido. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 7, n. 16, p. 575-588, 2020.
- SOUZA, D. M.; LIMA, J. E.; CARVALHO, P. C. Capacidade de troca de cátions e manejo nutricional de solos agrícolas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n.6, p.1455–1464, 2009.
- STEFANOSKI, A.; SILVA, L. F.; MENDONÇA, E. S. Propriedades físicas do solo e sua relação com manejo agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, n.6, p.1610–1622, 2013.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- TOKESHI, K.; et al. Integrated soil quality assessment: physical, chemical and biological indicators. *Soil Science Journal*, v.54, n.3, p.245–258, 1997.
- VALARINI, P. J. et al. Qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional. *Horticultura Brasileira*, v. 29, p. 485-491, 2011.
- VALARINI, P. J.; FRIGHETTO, R. F.; SILVA, A. C. Parâmetros integrados na avaliação da qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, n.1, p.101–110, 2002.
- VALARINI, Pedro J. et al. Qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional. *Horticultura Brasileira*, v. 29, p. 485-491, 2011.
- VÁSQUEZ-VELÁSQUEZ, C. Efeitos do reflorestamento na recuperação de propriedades físicas do solo em áreas degradadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.40, n.3, p.655–666, 2016.
- ZILLI, J. et al. Importância da qualidade do solo na produção agrícola sustentável. *Revista Agropecuária Brasileira*, v. 36, p. 123-135, 2003.
- ZONTA, E. Erosão do solo e práticas de manejo em diferentes texturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.5, p.1543–1554, 2011.