

## Preservação de Recursos Naturais Através de Práticas de Manejo e seus Impactos na Qualidade Física do Solo

### Preservation of Natural Resources Through Management Practices and their Impact on the Physical Quality of the Soil

Marcus Vinicius Sauer Augusto<sup>a</sup>; Gilberto Bueno Demetrio<sup>b</sup>; Cristiano Reschke Lajus<sup>c</sup>; Paula Fernanda de Azevedo-Ribeiro<sup>a</sup>; Erich dos Reis Duarte<sup>a</sup>; Aline Vanessa Sauer<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Universidade Pitágoras Unopar. PR, Brasil.

<sup>b</sup>Universidade Estadual Norte do Paraná. PR, Brasil.

<sup>c</sup>Universidade Comunitária da Região de Chapecó.

<sup>d</sup>Centro Universitário de Ourinhos. SP, Brasil.

\*E-mail: [aline.sauer@uenp.edu.br](mailto:aline.sauer@uenp.edu.br)

---

#### Resumo

Os solos agrícolas são continuamente modificados por ações naturais ou antrópicas. O manejo racional do solo busca alternativas tecnológicas que possibilitem aumento da produtividade através da agricultura sustentável. O objetivo deste estudo foi realizar um levantamento de dados sobre práticas de manejo, qualidade física do solo e sua relação com os impactos gerados pelo uso agrícola. Para o presente estudo foi realizada uma revisão de literatura de livros, artigos científicos, pesquisas em jornais, revistas científicas e outros. No monitoramento da qualidade do solo, considerou-se a quantificação de alguns indicadores físicos, químicos e biológicos e não apenas um atributo. Atualização destes indicadores permite adequar práticas de manejo e explicitar suas limitações quanto ao uso do solo sendo úteis na avaliação do seu estado de conservação o que possibilita uma gestão segura de seus recursos. Todavia, para cada sistema há fatores que influenciam positiva ou negativamente e refletem, em parâmetros, que sejam realmente sensíveis em detectar alterações nos solos submetidos a diferentes práticas de cultivo. O manejo e qualidade física do solo refletem na estrutura adequada do solo, suficientemente poroso para a realização de trocas gasosas, assegura o fornecimento de água, de nutrientes e adequado crescimento das plantas. Observou-se que os diferentes sistemas de cultivo são gerados para situações e solos específicos e que, ao caracterizar sinais de degradação, surge a necessidade em adotar técnicas que favoreçam sua estruturação. Além disso, é necessário um número maior de estudos para a validação e a aplicação de práticas que mantenham ou favoreçam a qualidade do solo de forma confiável, o que configura oportunidade para o desenvolvimento de novas pesquisas na área.

**Palavras-chave:** Sistemas de Cultivo. Estrutura do Solo. Atributos Físicos. Compactação do Solo. Atividade Microbiana.

#### Abstract

*Agricultural soils are continually modified by natural or anthropic actions. Rational soil management seeks technological alternatives that enable increased productivity through sustainable agriculture. The objective of this study was to carry out a survey of data on management practices, the physical quality of the soil and its relationship with the impacts generated by agricultural use. The research methodology consisted of a literature review carried out through books, scientific articles, research in newspapers, scientific journals and others. In soil quality monitoring, the quantification of some physical, chemical and biological indicators is considered and not just one attribute. Updating these indicators makes it possible to adapt management practices and explain their limitations in terms of soil use, being useful in the assessment of their conservation status, which enables a safe management of their resources. However, for each system there are factors that influence positively or negatively and reflect, in parameters, that are really sensitive in detecting alterations in the soils submitted to different cultivation practices. The management and physical quality of the soil reflect on the adequate structure of the soil, porous enough to carry out gas exchange, ensuring the supply of water, nutrients and adequate plant growth. It was observed that the different cultivation systems are generated for specific situations and soils and that, when characterizing signs of degradation, the need arises to adopt techniques that favor their structuring. In addition, a greater number of studies are needed for the validation and application of practices that reliably maintain or favor soil quality, which represents an opportunity for the development of new research in the area.*

**Keywords:** Cultivation Systems. Soil Structure. Physical Attributes. Soil Compaction. Microbial Activity.

---

#### Introdução

Devido ao crescimento populacional, a agricultura moderna busca constantemente o aumento da produtividade por meio da utilização de novas tecnologias na mecanização, na irrigação, nos adubos orgânicos e inorgânicos, nos pesticidas e no melhoramento genético de plantas. Entretanto, de alguma maneira, aspectos intrínsecos do solo têm sido negligenciados gerando degradação de áreas agrícolas com perdas da biodiversidade e de recursos não-renováveis elevando os custos à sociedade (RAMANKUTTY *et al.*, 2018).

Solos agrícolas estão continuamente sendo modificados por ações naturais de intemperismo ou antrópicas e sua composição depende da constituição da rocha matriz, clima, relevo, tempo e atuação dos organismos biológicos. A ação do homem sobre o solo pode levar à degradação com consequências nas características físicas, químicas e biológicas que podem acarretar perda da sua fertilidade e da sua capacidade produtiva quer seja em culturas anuais, perenes ou semiperenes (RAMANKUTTY *et al.*, 2018).

Assim sendo, o conhecimento dos diferentes solos e a manutenção de suas características possibilitam a escolha do

manejo a ser adotado através de um conjunto de parâmetros que possam auxiliar no seu diagnóstico. Desta forma, a escolha de indicadores que sejam realmente sensíveis às alterações ocorridas no solo sob diferentes sistemas de manejo está em evidência devido à perda de qualidade do solo. Problema que vem ocorrendo devido ao uso inadequado dos recursos naturais, de insumos e práticas agrícolas (BRANCO, 2014; TAVARES FILHO, 2013).

Neste contexto, o uso e manejo do solo sem uma avaliação das suas potencialidades e limitações podem ser considerados como motivos da degradação deste recurso natural fundamental para a sobrevivência do homem?

O objetivo do trabalho foi comparar as principais práticas de manejo do solo e o impacto na qualidade física do solo e seus atributos assim como, também apontar, através da pesquisa, a evolução do estudo da física do solo correlacionada a preservação de recursos naturais e o aumento da produtividade agrícola; conhecer os principais problemas relacionados a práticas de manejo e degradação de áreas agrícolas; descrever novas tecnologias e conhecimentos que favorecem o manejo e o uso racional do solo.

## 2 Desenvolvimento

### 2.1 Metodologia

O tipo de pesquisa realizado nesse trabalho foi o de uma revisão de literatura dos últimos vinte anos englobando trabalhos técnicos e científicos divulgados em periódicos, publicações em simpósios e congressos disponíveis nas bases de dados da CAPES, Scielo e Sociedade Brasileira de Ciência de Solo (SBCS), livros e literaturas disponibilizados na biblioteca da Universidade Pitágoras Unopar. Os termos de busca utilizados para a revisão de literatura foram: sistemas de cultivo, manejo do solo, estrutura física, qualidade física do solo e atributos físicos.

### 2.2 Resultados e Discussão

Os solos minerais são constituídos por partículas sólidas (mineral e orgânica), ar e água, formando um sistema trifásico. Nos sólidos do solo, a parte orgânica ou matéria orgânica (MO), formada pelo acúmulo de resíduos de animais e vegetais em diferentes graus de decomposição, caracteriza o comportamento físico e químico do solo. A fase sólida mineral apresenta variações quanto ao tamanho, forma e composição química. Sua combinação, nas várias configurações possíveis, compõe a chamada matriz do solo constituída, por partículas unitárias do material de origem formando à textura do solo. Entretanto, independentemente dos benefícios da MO e da importância da composição mineralógica do solo, o que define sua caracterização física é o estudo do tamanho e arranjo de suas partículas minerais (CAMARGO; ALLEONI, 1997; FERREIRA, 2010).

O desenvolvimento da agricultura com o aumento da produtividade e responsabilidade ambiental despertou

o interesse pelo estudo do solo. O crescimento e o desenvolvimento vegetal dependem de uma série de fatores ambientais e edáficos por englobarem numerosos componentes minerais e orgânicos com diferentes arranjos geométricos e que interagem com a água e a atmosfera do solo. Esta interação é considerada complexa e raramente está em equilíbrio devido à condições de solo como úmido ou seco, expandido ou contraído, disperso ou floculado, compactado ou não (TAVARES FILHO, 2013).

Solo e água podem ser considerados como recursos fundamentais para a vida na terra devido às funções essenciais e de extrema importância com destaque para a capacidade em reter nutrientes através da sua capacidade de troca catiônica (CTC), servindo como um reservatório, e à porosidade, que permite armazenar água (TAVARES FILHO, 2013).

No entanto, as práticas adotadas no preparo da terra talvez sejam atividades que, diretamente, mais atuem na estrutura e nas propriedades físicas do solo, sendo de extrema importância na avaliação do nível de degradação imposta pelo uso agrícola e na determinação de estratégias de utilização e manejo sustentável (LIMA *et al.*, 2007).

O conceito de qualidade física do solo compreende o conhecimento de propriedades e processos relativos à aptidão do solo em propiciar condição adequada para o crescimento e desenvolvimento da planta, a saúde do ecossistema e sua sustentabilidade. O estudo da qualidade física do solo é realizado através de indicadores físicos como avaliação da sua estrutura e de propriedades ou atributos que tenham a capacidade de expressar alterações da sua condição frente ao uso da terra e sistemas de manejo (AGUIAR, 2008).

De acordo com Law (2001), a consciência do homem, suas ações e sua relação com as propriedades específicas de cada solo são de extrema importância para a manutenção da produtividade e o controle quanto à degradação ambiental. Dentro deste conceito, Gonçalves (2014) cita que o manejo e o preparo do solo, quando realizados de forma correta, contribuem para a manutenção e melhoria das suas características físicas, porém o oposto também é verdadeiro, o que pode acarretar prejuízos a sua estrutura comprometendo diretamente a formação e desenvolvimento das culturas.

Para Costa *et al.* (2003) os efeitos do manejo sobre os atributos edáficos são decorrentes dos diferentes sistemas de preparo e cultivo e do tempo em que são utilizados. A textura, por agir na dinâmica da coesão e adesão entre partículas conforme o grau de umidade influenciando, também, na resistência do solo à tração e na dinâmica da água agindo diretamente em processos como a ciclagem de nutrientes e troca iônica, considerada um dos principais atributos usados como indicadores da qualidade física e sua produtividade (BEDIN, 2003).

Tavares Filho (2013) também salienta que a textura participa de reações e processos físicos e químicos que ocorrem no ambiente edáfico e que podem ser inferidos a

partir do pH, da CTC, do potencial de oxidação e redução, da adsorção iônica, da agregação e estabilidade de agregados, dos movimentos da água e do ar, da infiltração e retenção de água e na erodibilidade.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2012) os termos textura e granulometria são usados como sinônimos em diversos estudos, sendo uma característica do solo relacionada à distribuição percentual das frações areia, silte e argila separadas por tamanhos diferentes (< que 2 mm de diâmetro) e definidas por diâmetros próprios e que representa um dos atributos mais estáveis do solo. Essa característica é considerada uma aptidão importante para a descrição, identificação e classificação dos solos, sua avaliação apresenta conceito quantitativo com relação às três frações (areia, silte e argila) que apresentam amplitudes de tamanhos variáveis em função do sistema de classificação adotado (Quadro 1) (FERREIRA, 2010; KLEIN, 2014).

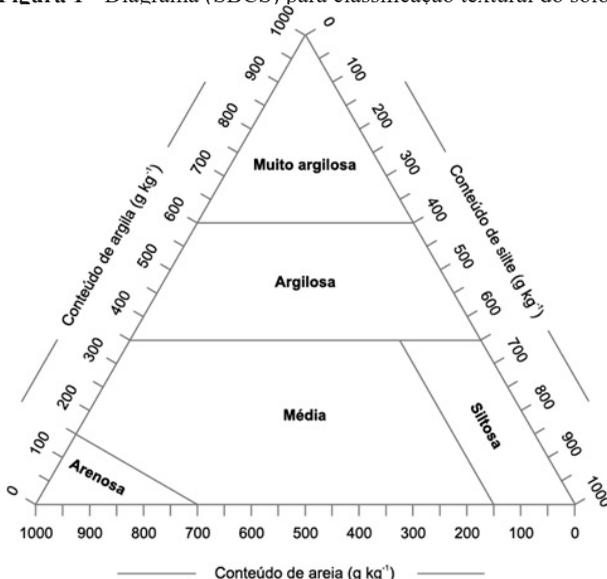
**Quadro 1.** Frações granulométricas definidas pelos sistemas de Classificação Norte Americano – Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), Sistema Internacional (ISSS) e da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS).

Frações	Sistemas		
	USDA	ISSS Ø (mm)	SBCS
Areia muito grossa	2 – 1		
Areia grossa	1 – 0,5	2 – 0,2	2 – 0,2
Areia média	0,5 – 0,25		
Areia fina	0,25 – 0,10	0,2 – 0,02	0,2 – 0,05
Areia muito fina	0,10 – 0,05		
Silte	0,05 – 0,002	0,02 – 0,002	0,05 – 0,002
Argila	0,002	0,002	0,002

Fonte: Scaramuzza *et al.* (2003).

Dentro da classificação textural, segundo Brady e Weil (2013), existem três grupos principais de classes que, conforme o tamanho de suas partículas coexiste com classes texturais específicas que, segundo a SBCS indicam o comportamento das propriedades físicas do solo (Figura 1).

**Figura 1** - Diagrama (SBCS) para classificação textural do solo.



Klein (2014), cita que devido às propriedades físicas e sua influência no manejo e no desenvolvimento dos vegetais, a textura do solo passou a ser exigência na aplicação racional do crédito agrícola e no Programa de Garantia Agropecuária (PROAGRO) seguindo a seguinte classificação: Tipo I – Solo de textura arenosa; Tipo II - solo de textura média e Tipo III - solo de textura argilosa.

Solos agrícolas com predomínio da fração areia eram considerados de pouco interesse para a agricultura devido à limitações com o manejo, deficiência de nutrientes para as plantas, alta susceptibilidade à erosão, a contaminação das águas subterrâneas e a deficiência hídrica quando em períodos de seca.

No entanto, essa concepção começou a mudar no início da década de 70 com a criação do sistema para a avaliação da aptidão agrícola dos solos brasileiros, que visa classificar o potencial de uso dos solos para agricultura (BENNEMA *et al.*, 1964).

Atualmente, a afirmação de que o “solo para ser considerado produtivo deve apresentar uma textura argilosa” está em desuso em função dos avanços nas pesquisas e nos sistemas de produção e manejo tornando viáveis as atividades agrícolas. Entretanto, é consenso que solos arenosos são mais propensos à degradação e à perda da capacidade produtiva quando comparados aos argilosos, em condições ambientais similares (DONAGEMMA *et al.*, 2016).

A estrutura do solo retrata o arranjo e disposição das partículas que compõem a terra, criando um sistema poroso (FERREIRA, 2010). Esse termo, estrutura refere-se, segundo Marshall (1958 *apud* FERREIRA, 2010), “ao arranjo das partículas do solo e do espaço poroso entre elas e, dentro deste conceito, inclui-se o tamanho, a forma e o arranjo dos agregados que são formados pelo agrupamento de partículas primárias em unidades separáveis”.

Esse atributo edáfico e seus componentes unitários estão constantemente sendo desfeitos e refeitos, quer seja por ações físicas e/ou pela ação dos microrganismos que influenciam diretamente na disponibilidade de água através da infiltração ou escoamento e do seu movimento e armazenamento; transferência de calor, aeração, porosidade e densidade do solo; disponibilidade de nutrientes para as plantas; germinação e desenvolvimento das plantas e raízes; erosão do solo. Condições que influenciam diretamente na relação solo-planta (TAVARES FILHO, 2013).

A granulometria do solo, relacionada às porcentagens das partículas primárias distribuídas em diferentes tamanhos com diâmetros específicos, formam as frações areia, silte e argila que influenciam a adesão e coesão, o manejo, a resistência à tração e a dinâmica da água no solo (TAVARES FILHO, 2013; KLEIN, 2014).

Baseado nessas informações, a procura pela qualidade e conservação do solo levou a novas técnicas que apresentam hoje em dia no campo áreas sob sistema de plantio convencional, plantio direto e cultivo mínimo além do setor

agropecuário que mantêm grandes áreas sob o sistema de pastagem (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

O desenvolvimento da estrutura do solo necessita, sobretudo, da atração das partículas primárias que o compõem. Esse processo denominado de agregação do solo é influenciado por agentes de ligação. Tavares Filho (2013) citou que para a formação dos agregados dois processos são essenciais: o processo de floculação referente a aproximação das partículas primárias do solo e o processo de cimentação, que permite a formação de agregados mais estáveis e que não se dispersam em água.

É importante salientar que não existe solo sem estrutura e que a estrutura se constitui atributo de natureza dinâmica e uma simples alteração na sua disposição poderá definir novo comportamento nos processos que ocorrem no sistema (FERREIRA, 2010). Segundo esse mesmo autor, solos bem estruturados oferecem melhores condições para o desenvolvimento das plantas e a persistência dessa estruturação opõe-se a degradação do solo.

Gonçalves (2014) citou que o manejo e o preparo do solo realizados adequadamente contribuíram para a manutenção e/ou melhoria de suas características físicas, porém quando realizado de maneira incorreta podiam trazer prejuízos a estrutura o que compromete o estabelecimento e desenvolvimento da cultura empregada.

Segundo Tavares (2013), em se tratando de solos agrícolas de uso intensivo há a compactação do solo causada pelo manejo com umidade inadequada do solo. A compactação é a pressão aplicada sobre o solo e as mudanças que ocorrem em seus atributos físicos como: aumento da densidade, menor volume de macroporos, infiltração e movimento interno de água mais lentos e maior resistência mecânica do solo ao crescimento das raízes (SEIXAS, 1988; SILVA FILHO, 2015).

Assim sendo, conclui-se que a produtividade do solo está intimamente relacionada com a textura, porém esta relação também depende do tipo de manejo adotado e o reflexo na qualidade de atributos físicos do solo. Por isso, estratégias de manejo do solo para melhorar ou recuperar a estrutura, como a colocação de cobertura no solo e a incorporação de matéria orgânica permitem o aumento na porosidade e redução da densidade do solo (MILNE; HAYNES; 2006).

Cavenage *et al.* (1999) verificaram que o uso intensivo dos Latossolos Vermelho no nordeste do Estado de São Paulo com cultura de cana-de-açúcar e com preparo superficial excessivo com queima dos resíduos, alterou significativamente ou atributos físicos dos solos sendo evidenciado a diminuição do volume de macroporos, do tamanho de agregados, a taxa de infiltração de água no solo e o aumento da resistência à penetração de raízes e a densidade do solo.

O mesmo comportamento foi observado por Araújo *et al.* (2004) que trabalhando com mata nativa (Floresta estacional semidecidual) e solo cultivado (milho, aveia, sorgo, soja e mandioca) por cerca de 20 anos, utilizando sistema convencional de preparo do solo, obtiveram valores de

macroporos e de porosidade total do solo significativamente menores no solo cultivado comparado ao solo sob mata nativa. Entretanto, estes autores não encontraram diferença significativa em relação aos microporos nos dois sistemas estudados. Os autores ponderam que tal fato é devido à forte influência da textura do solo e o teor de carbono orgânico e muito pouco influenciado pelo aumento da densidade do solo, originada do tráfego de máquinas e implementos.

Oposto a esses resultados, Costa *et al.* (2011), trabalhando com rotação de culturas em sistema de plantio direto em um Latossolo Vermelho eutroférrico verificaram redução no atributo densidade do solo com elevação da macroporosidade e porosidade total na camada de 0 a 0,10 m e, redução a penetração na camada 0,025 a 0,20 m.

Fato também observado por Genro Júnior *et al.* (2009) e que recomendam o uso de rotação de culturas por diminuir a densidade e aumentar a porosidade e a estabilidade de agregados do solo. Nesse mesmo sentido, Muzilli (2006) afirmou ser possível prevenir o problema da compactação no sistema plantio direto com a adoção de rotação de culturas com plantas de cobertura que possuam características de rusticidade e sistema radicular vigoroso.

Oliveira (2014) salienta que o uso de cobertura verde favorece atributos físicos do solo como estrutura, incrementa agregação do solo, reduz a erosão (compactação e densidade), aporte de matéria orgânica, reciclagem de nutrientes, favorece a atividade microbiana, suprime as plantas daninhas, quebra ciclos de pesticidas, incrementa a infiltração, promove a capacidade de armazenamento de água e nos primeiros anos da implantação de sucessão de culturas.

Milne e Haynes (2006) verificaram maior estabilidade de agregados com o cultivo de leguminosas. Segundo eles, tal fato está relacionado à maior produção de biomassa e ao comprimento de hifas de fungos sendo, a cobertura vegetal indicada como uma das formas de minimizar os efeitos do manejo empregado ao solo e o tráfego de implementos agrícolas viabilizando, uma agricultura sustentável e com menor impacto ambiental.

A porosidade do solo, resultante do arranjo das partículas sólidas, é responsável por um conjunto de fenômenos e desenvolve uma série de mecanismos de grande importância na física de solos tais como retenção e fluxo de água e ar (REICHERT *et al.*, 2007). Os poros possuem diferentes formas, podendo ou não serem comunicantes fato que pode ou não favorecer a movimentação e percolação da água ou a sua permanência no sistema.

Entre as partículas maiores, como de areia ou entre agregados, predominam macroporos responsáveis pela aeração, movimentação de água e penetração de raízes. Microporos predominam dentro dos agregados ou elementos estruturais, como a argila, e são responsáveis pela retenção de água pelo solo (FABBRIS *et al.*, 2011). A caracterização da porosidade do solo é importante para escolha do manejo a ser adotado por estar ligada a dinâmica da água e solutos

nela dissolvidos, além das trocas gasosas que ocorrem no seu interior (LIMA *et al.*, 2007).

A capacidade de drenagem de um solo não está diretamente relacionada a sua porosidade, mas do volume de macroporos. Solos argilosos, por exemplo, apresentam um grande volume de porosidade, porém com predominância de microporos, o que favorece a retenção da água; enquanto nos solos arenosos o predomínio dos macroporos favorece à transmissão da água para níveis inferiores, garantindo uma boa drenagem e boa aeração, porém uma baixa umidade (Tabela 2).

**Tabela 2.** Classificação dos poros do solo e algumas funções de cada classe.

Classes simplificadas	Classes e Diâmetro efetivo (mm)	Características e funções
Macroporos	Macroporos (0,08 - +5)	Geralmente encontrados entre unidades estruturais; drenagem de água gravitacional; difusão de gases; tamanho suficiente para acomodar raízes e habitat de certos animais do solo.
	Mesoporos (0,03 - 0,08)	Retenção de água; movimento de água por capilaridade; habitat de fungos e raízes mais finas
Microporos	Microporos (0,005 - 0,03)	Geralmente encontrados dentro de unidades estruturais; retenção de água disponível às plantas e habitat da maioria das bactérias.
	Ultramicroporos (0,0001 - 0,005)	Presente em solos argilosos; retenção de água não disponível às plantas; seu tamanho exclui a maioria dos microrganismos.
	Criptoporos (<0,0001)	Seu tamanho exclui todos os microrganismos e moléculas de maior tamanho.

Fonte: PREVEDELLO *et al.* (2013).

Assim, a retenção de água no solo refere-se à quantidade de água que os sólidos do solo conseguem reter e disponibilizar as plantas. Esta condição pode variar em função da textura, do teor de matéria orgânica e da proporção de macro e microporos distribuídos no solo (BARRIOS *et al.*, 2011).

Brady e Weill (2013) ponderaram ainda sobre a condutividade hidráulica do solo, que é a capacidade em transmitir água em seu interior, e sua importância para determinar seu uso agrícola.

Entretanto, este atributo (macro e microporosidade) é importante na previsão da susceptibilidade à compactação do solo e, segundo Resende *et al.* (1992) sugerem que partículas da fração areia mais finas favorecem a compactação e retenção de umidade, ao passo que partículas de areia mais grosseiras promovem um arranjo mais solto, apresentando maior

permeabilidade e menor retenção de umidade. As relações texturais entre camadas de solo na superfície e subsuperfície são importantes para caracterizar a dinâmica da água no perfil. Camadas subsuperficiais muito argilosas podem levar à formação de argilopans que interferem no movimento de água no perfil do solo que favorece maior escoamento superficial e subsuperficial e conseqüentemente maior erosão (COSTA *et al.*, 2002). O preparo do solo, nestas condições, deve ser realizado em épocas menos chuvosas e com pequeno revolvimento de camadas de solo.

Segundo EMBRAPA (2004), o preparo do solo no sistema convencional tem por objetivo melhorar as condições físicas para o crescimento das raízes, com aumento da aeração, da infiltração de água e da redução da resistência do solo ao desenvolvimento radicular com as atividades de aração, gradeação e subsolagem.

O preparo mínimo do solo é um sistema entre o convencional e o plantio direto com número menor de operações e baseado em práticas conservacionistas. Neste sistema o preparo mais utilizado é uma combinação entre herbicidas e o revolvimento do solo por uso de escarificadores ou enxadas rotativas (VOLPATO *et al.*, 2004).

O sistema de plantio direto é conservacionista e consiste basicamente num conjunto de técnicas integradas com o objetivo de melhorar as condições ambientais (água-solo-clima) respeitando três requisitos mínimos: o não revolvimento do solo, a rotação de culturas e o uso de culturas de cobertura para formação de palhada, associada ao manejo integrado de pragas, doenças e plantas daninhas (PRIMAVESI, *apud* EMBRAPA, 2003).

Como mencionado, a classificação textural fornece a distribuição do tamanho de partículas e indica também o comportamento dos atributos físicos do solo que, com os atuais sistemas de manejo, tornaram terras produtivas independentemente da sua textura. Porém, é importante destacar que a classe textural e seus efeitos positivos ou negativos dependem ainda das exigências de desenvolvimento de cada cultura (BRADY; WEIL, 2013).

Em estudo realizado por Bedin *et al.* (2003) com fertilizantes fosfatados, os autores observaram aumento na produtividade da soja com resultados superiores em solos de textura média e arenosa quando comparados a solo argiloso.

Galbieri *et al.* (2014), no Estado de Mato Grosso, na avaliação de fertilidade e física do solo, sistemas de cultivo, nematoides e murcha de *Fusarium* sp., observaram que a produtividade da cultura algodão não diferiu entre solos argilosos e de textura média sob condições similares.

Trabalhando com cultura do arroz, Dou *et al.* (2016) relataram aumento na produtividade da cultura em solos argilosos na comparação com solos arenosos. Segundo os autores, este fato está relacionado ao maior teor de MO nos solos argilosos devido a maior proteção física oferecida pela argila o que reduziu perdas desta MO e, conseqüentemente,

aumento na capacidade de retenção de água disponível à planta, o que favoreceu o desenvolvimento da cultura.

O Eucalipto, cultura que se adapta bem em solos arenosos, é a essência florestal mais cultivada no Brasil com aproximadamente 5 milhões de hectares cultivado. Em estudo realizado na região de Alegrete, no Rio Grande do Sul, com sistema silvopastoril, utilizando o eucalipto e ovinos em solos arenosos, os resultados obtidos indicaram uma melhor qualidade do solo com aumento da rentabilidade em comparação à pecuária extensiva (que não demanda grandes investimentos) (FLORES *et al.*, 2010).

Porém, em estudos realizados por Tavares Filho (2010) e Torres *et al.* (2011), comparando diferentes sistemas de cultivo e manejo, foi observado alterações em características físicas do solo principalmente em sua estrutura ao longo do tempo.

Fato similar foi observado por Lima *et al.* (2013) que constataram aumento no atributo densidade relacionado à compactação do solo o que, além de reduzir o volume de poros favorece a erosão, a perda na condutividade hidráulica e o menor desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

A compactação do solo é a redução do espaço poroso por ação de forças externas dependente da intensidade da carga e atributos do solo como porosidade, densidade, textura e estado hídrico (CUI *et al.*, 2010). Segundo Camargo e Alleoni 1997, a compactação do solo também pode ser resultado da ação de forças internas como: umedecimento e secagem, congelamento e degelo e expansão e contração da massa de solo.

É do conhecimento que a modernização do cenário agrícola com aumento da exploração do solo e o cultivo de duas culturas anuais, trouxeram ao homem diversas facilidades através do desenvolvimento de operações mais ágeis e eficientes (SUZUKI, 2005) e com a modernização nas práticas culturais as máquinas agrícolas também foram redimensionadas quanto ao peso e potência para atender a nova demanda agrícola.

Todavia, questionamentos acerca do processo de compactação do solo, evento onde há diminuição do espaço poroso entre as partículas do solo, conseqüentemente o aumento da sua densidade, reflete no aumento da resistência à penetração das raízes. No Brasil, na década de 1970, foi criado por Herbert Bartz um sistema de cultivo voltado a técnicas conservacionista e de manutenção das características estruturantes do solo que visava a semeadura da cultura a ser implantada sobre a palhada da cultura precedente, denominado de sistema de plantio direto (SPD) (EMBRAPA, 2020).

Contudo, Drescher *et al.* (2011), ponderaram que mesmo em áreas que adotaram SPD, o processo de compactação do solo não foi eliminado sobretudo nas camadas de 5 a 20 cm. O que contradiz com Goedert *et al.* (2002), que avaliando áreas sob o sistema de plantio direto não observaram compactação em solos, atribuindo tal fato ao adequado manejo das lavouras e às boas características físicas originais do solo.

No entanto, Reichert *et al.* (2007) cita que pesquisas têm demonstrado o efeito da compactação nos atributos físicos devido ao excesso de carga sobre os solos e que tal fato está relacionado principalmente as operações de preparo e a intensidade de tráfego nas áreas agrícolas com a crescente mecanização.

O que condiz com estudos realizados por Streck *et al.* (2004) que avaliaram os o tráfego de máquinas em áreas de plantio direto como um dos fatores de compactação. Os resultados do estudo indicaram que nos diferentes níveis de tráfego aplicados houve influência na redução na macroporosidade e porosidade total; maior densidade e resistência à penetração.

A compactação do solo em plantio direto tem também como fator limitante as características físicas originais do solo e o adequado manejo, assim como descrito por Suzuki *et al.* (2007), onde os resultados obtidos mostraram que em Latossolo os limites críticos de aeração e de resistência à penetração são alcançados com menor grau de compactação do que em Argissolo.

Em trabalho realizado por Severiano *et al.* (2010), avaliando a colheita mecanizada e colheita manual de cana-de-açúcar, constataram que a colheita mecanizada, mesmo sendo realizada no estágio de umidade de friabilidade ideais, causou compactação do solo, fato não observado na colheita manual.

A susceptibilidade do solo à compactação pode ser alterada pelo acúmulo de matéria orgânica, entretanto a textura e seus efeitos associados à retenção de água, coesão e densidade determinarão sua intensidade e o tipo de efeito (BRAIDA *et al.*, 2010).

Com o processo de compactação, há uma diminuição dos poros para a realização das trocas gasosas ocorrendo um acúmulo de CO<sub>2</sub>, resultando que provocam efeitos desfavoráveis na raiz. A concentração de gás carbônico até 3%, não se manifesta como agente tóxico à raiz, em contrapartida esta concentração proporciona um ambiente onde predominam processos anaerobióticos refletindo em uma menor quantidade de oxigênio (PRIMAVESI, 2002).

Para Wagner (2017), a macroporosidade do solo em 10% (0,100 m<sup>3</sup>) é o suficiente para arejar e satisfazer a demanda respiratória, sendo uma boa indicadora de condição estrutural ou física do solo. Com relação a umidade do solo, Bordin (2002) relata a ação de duas forças essencialmente responsáveis pela retenção no solo.

[...], uma delas é a tração das superfícies sólidas pelas moléculas d'água (adesão) e a outra é a atração das moléculas d'água entre si (coesão). O húmus auxilia nesta retenção de umidade, absorvendo, grande quantidade de água promovendo a granulação das partículas minerais. (BORDIN, 2002, p.9)

Como já abordado neste trabalho e exposto acima, o teor de umidade do solo é variável devido à ação das forças de adesão e coesão, bem como o teor de matéria orgânica contido no solo. Bordin (2002), citou que a densidade de compactação de um solo está relacionada a umidade do solo fator que interfere

desde o fornecimento de oxigênio necessário para manter a atividade aeróbica, até a disponibilidade de água às plantas, sendo mais expressivo em condições climáticas desfavoráveis à cultura (veranico), com uma correlação entre o bem-estar do sistema radicular e as estruturas granulométricas do solo.

O que condiz com Ruser *et al.* (2006) e Collares *et al.* (2008), que observaram na diminuição do teor de água o aumento na resistência do solo ocasionando um impedimento mecânico cada vez maior à penetração e desenvolvimento do sistema radicular e que, solos compactados apresentaram menor aproveitamento dos nutrientes e maior emissões de  $N_2O$  para a atmosfera.

Em sistema integrado lavoura pecuária, o pisoteio de gado conforme a lotação se torna um método potencial para a compactação da camada superficial do solo, restringindo a produtividade das culturas subsequentes. Albuquerque *et al.* (2001) ao estudar as modificações nos atributos físicos do solo e as características da cultura do milho em área submetida ao sistema de preparo convencional e plantio direto e com pisoteio animal durante o inverno, observaram maiores alterações nos atributos físicos no sistema plantio direto em relação ao sistema de preparo convencional.

Segundo os autores, no SPD a estatura de plantas, o número de folhas verdes, o peso de 1.000 grãos, o número de grãos por espiga e a produtividade foram inferiores aos do sistema convencional. Os autores sugerem ainda que no SPD deve-se evitar o uso de máquinas pesadas e o pastejo nas áreas comuns de lavoura-pecuária, principalmente quando a umidade do solo estiver acima do ponto de friabilidade (ALBUQUERQUE *et al.*, 2001).

Dados semelhantes foram obtidos por Lanzasova *et al.* (2007) que, estudando os atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto constataram que a microporosidade do solo não foi significativamente alterada pelos sistemas de manejo das pastagens em nenhuma das camadas de solo estudadas, entretanto, a macroporosidade e a porosidade total sofreram influência do pisoteio bovino na camada superficial, ambas diferindo da área não pastejada.

Em trabalho realizado por Silva (1998) objetivando alternativas para a descompactação do solo, a densidade de  $1,6 \text{ g cm}^{-3}$  não impediu o desenvolvimento radicular das culturas de aveia, guandu, milheto, mucuna preta, sorgo e tremoço azul. Entretanto, como cultura subsequente, a soja não apresentou crescimento nesta densidade o que demonstra o potencial das culturas de adubação verde no processo de descompactar tais camadas.

Nas plantas, as raízes são as primeiras a sentir os efeitos de camadas compactadas do solo devido a ação da pressão de turgor celular e a resistência da parede celular a deformações do meio, como agentes essenciais para ultrapassar tais obstáculos (BORDIN, 2002).

Em estudo com plantas de girassol, Scapinelli *et al.* (2016), constataram uma diminuição do índice de área radicular quando submetidas a solos compactados devido ao tráfego de

maquinário, o que resultou em restrição do volume do perfil de solo explorado e alterações anatômicas nas raízes, o que diminuiu o desenvolvimento e a produtividade da cultura. Segundo esses mesmos autores, valores maiores que  $0,733 \text{ MPa}$  de resistência do solo à penetração promoveram redução na produtividade da cultura e que valores menores que  $0,264 \text{ m}^{-3}$  de macroporosidade propiciaram redução do índice de área radicular das plantas, sendo considerados críticos para a cultura do girassol.

Os efeitos da compactação sobre atributos do solo, crescimento radicular e produtividade da cultura do milho foi estudado por Freddi *et al.* (2007), que cita que o tráfego de tratores ocasionou maiores níveis de compactação na camada superficial, fato que proporcionou maior densidade e superfície radicular e que houve aumento linear no diâmetro radicular e a massa seca das raízes com o aumento da resistência à penetração e que valores de resistência à penetração entre  $1,03$  e  $5,69 \text{ MPa}$  provocaram alterações na morfologia do sistema radicular da cultura do milho o que reduziu a produtividade em  $2,581 \text{ Mg ha}^{-1}$  porém, não foram limitantes ao enraizamento.

Entretanto, Martins (2018), trabalhando com a cultura do feijoeiro com diferentes densidades observou que o aumento da densidade do solo teve efeito significativo na redução da matéria seca da parte aérea de plantas de feijão nas densidades de  $1,2$  e  $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ , porém as raízes de plantas de feijão não foram influenciadas por nenhuma densidade utilizada.

Trabalhando com a cultura do milho, em vasos e ambiente protegido, com densidades de solo de  $1,0$ ;  $1,2$ ;  $1,4$ ;  $1,6$  e  $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ , Cotrim (2018), observou que com o aumento gradativo da densidade, houve redução de  $40$ ,  $45$ ,  $25$  e  $60\%$  na massa fresca da parte aérea em relação à testemunha. As densidades de  $1,4$  e  $1,8 \text{ g cm}^{-3}$  reduziram o peso da massa fresca de raízes no anel inferior. Para a massa seca de raízes os anéis medianos e inferiores apresentaram menores valores.

Ao avaliar a densidade do solo, porosidade de aeração e a permeabilidade do solo ao ar Moreira *et al.* (2002) concluíram que, após oito anos de integração lavoura pecuária, a hipótese de que o aumento do pisoteio animal diminui a qualidade física do solo não se confirmou. Santos *et al.* (2011) afirmaram que experimentos de longa duração que permitam observar as alterações na qualidade do solo resultantes dos efeitos acumulados dos sistemas de manejo são escassos.

Nesse contexto, a resistência do solo à penetração se torna um importante atributo físico indicador da qualidade física do solo por se correlacionar com outros indicadores do grau de compactação (RIBON; TAVARES FILHO, 2008).

Os organismos edáficos têm mostrado um grande potencial de utilização como indicadores capazes de mensurar a qualidade do solo através de atributos que medem ou refletem o status ambiental ou a condição de sustentabilidade do ecossistema, podendo ser útil no biomonitoramento de sua qualidade (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Estes ainda melhoram e mantêm a fertilidade do solo, uma das prioridades dos sistemas agroecológicos, juntamente com a preservação

da agrobiodiversidade e o uso eficiente da água, do equilíbrio adequado de nutrientes e da vida no solo, fatores necessários para que os sistemas agrícolas sejam sustentáveis (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Segundo Matsumoto *et al.* (2005), os microrganismos do solo são fundamentais também para a ciclagem e disponibilização de nutrientes para as plantas.

No entanto, as práticas adotadas no preparo da terra talvez seja a atividade que mais atue na estrutura e propriedades do solo sendo de extrema importância na avaliação do nível de degradação imposta pelo uso agrícola e na determinação de estratégias de utilização e manejo sustentável (LIMA *et al.*, 2007). Dentre diversas definições, Larson e Pierce (1994) nos apresentou que, a qualidade do solo se dá pela sua capacidade de funcionar dentro dos limites do ecossistema e interagir positivamente com o meio ambiente externo. Propriedades físicas, químicas e biológicas, formam diversas inter-relações que controlam sua particularidade.

Ghini e Morandi (2006) salientaram que o solo representa um conjunto de fatores bióticos e abióticos que interagem entre si, tornando-o um sistema complexo e dinâmico, dessa forma, qualquer modificação pode trazer alguma mudança, benéfica ou não (DORAN; PARKIN, 1994). O uso de biofertilizantes surge não somente como complementação à nutrição mineral de forma sustentável, mas também restabelecendo a sua biodiversidade microbiana e atuando nas características físico-químicas do solo por meio de práticas de manejo que enriqueçam a atividade edáfica (QIU *et al.*, 2012; BHARDWAJ *et al.*, 2014; FU *et al.*, 2017).

Para Costa *et al.* (2003) os efeitos do manejo sobre os atributos do solo foram decorrentes dos diferentes sistemas de preparo e cultivo e, o desenvolvimento dos microrganismos na camada superficial é altamente favorecido pelas condições que o sistema de plantio direto propicia, com a redução das operações mecânicas e aumento o teor da matéria orgânica do solo, o que favorece a atividade microbiana. A comunidade microbiana pode ser afetada de maneira direta ou indireta, com alterações que ocorrem no pH do solo, elementos tóxicos e na disponibilidade ou não de nutrientes (OLIVEIRA, 2004; OLIVEIRA *et al.*, 2005).

O carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) é o componente vivo da matéria orgânica e sensível às alterações ocorridas no ambiente, tornando-se um dos atributos na avaliação do grau de sustentabilidade de um sistema agrícola. Constituída, na sua maioria, por fungos e bactérias que atuam em processos de manutenção do ecossistema. Solos que mantêm alto conteúdo de biomassa microbiana são capazes não somente de estocar, mas também de ciclar mais nutrientes no sistema (BERTHRONG *et al.*, 2013).

A oxidação biológica da matéria orgânica à CO<sub>2</sub> pelos microrganismos aeróbios ocupa uma posição chave no ciclo do carbono nos ecossistemas terrestres. A avaliação da respiração do solo é a técnica mais frequente para quantificar a atividade microbiana, sendo positivamente relacionada com o conteúdo da matéria orgânica e com a biomassa.

A combinação das medidas de biomassa microbiana e a respiração do solo fornecem a quantidade de CO<sub>2</sub> evoluída por unidade de biomassa, denominada quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) (ALEF, 1995). A atuação da matéria orgânica no fornecimento de carbono e energia aos microrganismos determina o acúmulo ou perda de material orgânico, o qual é representado pela relação entre carbono microbiano e carbono orgânico total (CBMS/COT), ou quociente microbiano (qMIC).

Para muitos autores em área de agrossistema, esta relação se encontra em equilíbrio em 1,8% (BARETTA *et al.*, 2005). Assim sendo, tal relação determina a melhor qualidade da matéria orgânica presente no solo, quando comparados diferentes tipos de fonte (GARCIA *et al.*, 1997) e indica ainda, a eficiência da biomassa em utilizar o carbono disponível para biossíntese, sendo sensível indicador para estimar a atividade biológica (SAVIOZZI *et al.*, 2002).

A ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais, plantados ou naturais, tem sido amplamente estudada com o intuito de se obter maior conhecimento da dinâmica dos elementos nutrientes nestes ambientes, não só para o entendimento do funcionamento dos ecossistemas, mas também buscando informações para o estabelecimento de práticas de manejo florestal, recuperação de áreas degradadas e manutenção da produtividade de áreas degradadas e em recuperação (SOUZA; DAVIDE, 2001).

Ambientes que apresentam maior biodiversidade tendem a ser mais sustentáveis que sistemas afetados pela atividade antrópica e com ausência de espécies indicadoras (PURVIS; HECTOR, 2000). Como é do conhecimento, biodiversidade é a diversidade de plantas, animais e microrganismos que (co) existem e interagem dentro do ecossistema, sendo um parâmetro que permite avaliar a estrutura e a transformação do ambiente (LAVELLE *et al.*, 2006).

Florestas, muitas delas estabelecidas em solos de baixa fertilidade que torna sua manutenção dependente dos ciclos geoquímico, bioquímico e biogeoquímico. Distúrbios nesse ecossistema quebram este ciclo, alterando a qualidade e a quantidade de matéria orgânica do solo, acarretando diminuição da atividade e da biomassa microbiana, principal responsável pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia dentro do solo, e que exerce influência tanto na mineralização e estocagem do carbono e na liberação e na imobilização de nutrientes (LAVELLE *et al.*, 2006).

Em solos tropicais e subtropicais, a matéria orgânica apresenta uma estreita relação com propriedades físicas, químicas e biológicas, sendo seu manejo fundamental à manutenção da capacidade produtiva do solo em longo prazo (SWITZER; NELSON, 1972). Partindo desse princípio, Govaerts *et al.* (2007) sugeriram que os diferentes cultivos e práticas de manejo de resíduos tem efeito na diversidade microbiana do solo e que, a cultura, o manejo de resíduos, a sequência dos cultivos, e suas interações influenciam na atividade microbiana edáfica.

Além disso, a retenção dos resíduos das culturas no solo aumenta a microfauna do solo e sua atividade metabólica, sendo fonte contínua de carbono e de energia para os microorganismos. De acordo com Silva *et al.* (2013), diferentes sistemas de cultivo são os principais fatores ligados a diversidade bacteriana.

O plantio direto, por exemplo, sempre resulta em maior diversidade que outros sistemas mais agressivos que alteram de alguma forma a estrutura do solo. No entanto, diferentes rotações de culturas apesar de terem menores efeitos na diversidade bacteriana, também apresentam diferenças, fazendo necessários maiores estudos desse tipo de interação. O plantio direto combinado com uma sequência adequada de rotação de culturas resultou numa mais rica e mais diversificada comunidade microbiana total, que foi fortemente relacionado com C orgânico do solo e N total (GONZÁLEZ-CHÁVEZ *et al.*, 2010).

Os teores de C da biomassa microbiana (CBM) e os valores da relação CBM/C orgânico foram inversamente proporcionais à intensidade de manejo do solo e o quociente metabólico ( $qCO_2$ ) indicou que a biomassa microbiana foi menos eficiente na utilização dos compostos orgânicos, liberando mais C na forma de  $CO_2$  na atmosfera e incorporando menos C aos tecidos microbianos nos sistemas caracterizados por manejo mais intensivo do solo (SILVA *et al.*, 2010).

### 3 Conclusão

O aumento da produtividade agrícola combinado com ações de conservação do meio ambiente vem ganhando cada vez mais destaque e importância, o que exige dos profissionais do setor atitudes e comportamentos que tenham como meta a busca constante por informações de como produzir mais alimentos de forma sustentável e por longo período de tempo sem grandes impactos ambientais mantendo a qualidade do solo. Assim, propôs-se, neste estudo um levantamento bibliográfico sobre os sistemas de cultivo e indicadores da qualidade do solo elaborado através de indicadores físicos, propriedades ou atributos que tenham a capacidade de expressar alterações da sua condição frente ao uso da terra.

A textura do solo é um dos principais parâmetros utilizados como indicadores da qualidade física por retratar, quantitativamente, as frações areia, silte e argila sendo considerada uma aptidão importante na descrição, identificação e classificação do solo; na agregação do solo e na estabilidade destes agregados; no movimento da água e do ar; na infiltração e na retenção de água e na erodibilidade do solo aliado ao aumento da produção sob os diferentes sistemas de cultivo.

Entretanto, é importante ressaltar que a avaliação do uso da terra não foi abordada neste estudo por não levar em conta os diferentes tipos de utilização, ou seja, essa avaliação se preocupa simplesmente em ordenar os solos com relação à produtividade dentro de determinados sistemas de manejo.

Assim sendo, o levantamento proposto buscou referências

sobre a importância do solo, conciliando sua utilização com sua conservação. Os diferentes sistemas de cultivo e os indicadores de qualidade física do solo expõem a necessidade da adoção de sistemas que favoreçam a estruturação do solo e que elevem os teores de matéria orgânica. É importante salientar que os indicadores de qualidade física do solo existentes são elaborados para situações específicas, implicando num maior número de estudos sobre a análise quantitativa e a interpretação dos atributos físicos do solo.

### Referências

- AGUIAR, M. I. *Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais*. 2008. 72 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa. 2008.
- ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da Integração Lavoura-Pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, n. 3, 2001. doi: 0.1590/S0100-06832001000300021
- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press: London, p. 576, 1995.
- ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. *Bioscience Journal*, v. 23, p. 66-75, 2007.
- ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2004. doi: /10.1590/S0100-06832004000200012
- BARETTA, D. *et al.* Efeito do monocultivo de Pinus e de queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no planalto sul Catarinense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, p. 715-724, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000500007>
- BARRIOS, E.; COUTINHO, H. L. C.; MEDEIROS, C. A. B. *Integração participativa de conhecimentos sobre indicadores de qualidade do solo - Guia metodológico*. Word Agroforestry Centre (ICRAF), Embrapa, CIAT. Nairobi. 2011.
- BEDIN I. *et al.* Fertilizantes fosfatados e produção da soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. *Revista de Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 639-646, 2003. doi: 10.1590/S0100-06832003000400008
- BENNEMA, J.; BEEK, K. J.; CAMARGO, M. N. *Um sistema de classificação de capacidade de uso da terra para levantamento de reconhecimento de solos*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura/FAO, 1964. 49 p. Mimeografado.
- BERTHRONG, S.T.; BUCKLEY, D.H.; DRINKWATER, L. E. Agricultural management and labile carbon additions affect soil microbial community structure and interact with carbon and nitrogen cycling. *Microbial Ecology*, v. 66, n. 1, p. 158-70, 2013. DOI: 10.1007/s00248-013-0225-0
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355 p.
- BHARDWAJ, D.; ANSARI, M. W.; SAHOO, R. K.; TUTEJA, N. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial Cell Factories*, v. 13, n. 66, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-66>
- BORDIN, I. *Avaliação da parte aérea e do sistema radicular de mudas de pupunha em diferentes compactações de solo*. 2002. 31f. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido

- Rondon, 2002.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. *Elementos da natureza e propriedades do solo*. 3.ed. Bookmam Companhia Editora Ltda. Porto Alegre. 2013.
- BRAIDA, J. A. *et al.* Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e Argissolo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, p. 131-139, 2010. doi: 10.1590/S1415-43662010000200003
- BRANCO, P. M. *O Intemperismo e a Erosão*. 2014. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/O-Intemperismo-e-a-Erosao-1313.html>>. Acesso em 10 mai. 2022.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. *Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas*. Piracicaba: Ed. dos Autores/ESALQ, 1997. 132p.
- CAVENAGE, A. *et al.* Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, n. 4, p. 997-1003, 1999. doi: 10.1590/S0100-06831999000400027
- COLLARES, G. L. *et al.* Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 3, p. 933-942, 2008. doi: 10.1590/S0100-06832008000300003
- COSTA, F. S.; *et al.* C. *Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional*. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832003000300014](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000300014)>. Acessado em: 20 de março de 2020.
- COSTA, L. M. *et al.* Influência das características morfológicas, estruturais e texturais do solo na definição do seu preparo. *Conservação e cultivo de solos para plantações florestais*. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais –IPEF., Piracicaba, São Paulo, p. 218, 2002.
- COTRIM, J. V. B. *Compactação do solo no desenvolvimento da cultura do milho*. 2018. 40 p. Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, PR. 2018.
- CUI, K.; *et al.* Quantifying the effect of matric suction on the compressive properties of two agricultural soils using an osmotic oedometer. *Geoderma*, v. 156, n. 3-4, p. 337-345, 2010. doi: 10.1016/j.geoderma.2010.03.003
- DONAGEMMA, G. K. *et al.* Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. 9, p.1003-1020, 2016. doi: 10.1590/S0100-204X2016000900001
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. *Defining and assessing soil quality*. Madison: SSSA, p. 3-21, 1994.
- DOU, F. *et al.* Soil texture and cultivar effects on rice (*Oryza sativa*, L.) grain yield, yield components and water productivity in three water regimes. *Plos One*, v. 11, p. 1-12, 2016. doi: 10.1371/journal.pone.0150549
- DRESCHER, M. S. *et al.* Resistência à penetração e rendimento da soja após intervenção mecânica em Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, p. 1836-1844, 2011. doi: 10.1590/S0100-06832012000600018
- EMBRAPA. Sistema Plantio direto. 2020. Disponível em <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/98258/1/500perguntassistemaplantiodireto.pdf>>. Acesso em 10 mai. 2022.
- FABBRIS, E. MANFIO, D.A.L; VALDAMERI, G; BRUM, J.P; DELLA FLORA, L.P. *Porosidade do solo*. 2011. Disponível em:< [http://www.cafw.ufsm.br/mostra\\_ciencias/2011/resumos/209.pdf](http://www.cafw.ufsm.br/mostra_ciencias/2011/resumos/209.pdf)>. Acesso em: 18 mar. 2022.
- FERREIRA, M. M. Caracterização Física do Solo. In: VAN LIER, Q. J. (Ed). *Física do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-27, 2010.
- FLORES, C. A.; RIBASKI, J.; MATTEI, V. L. *Sistema agrossilvipastoril na região sudoeste do estado do Rio Grande do Sul*. 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/870878/1/Sistemaagrossilvipastorilnaregiao-sudoestedoestadodoRioGrandedoSul.pdf>. Acesso em: 20 maio 2022.
- FREDDI, O. S. *et al.* Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.4, p.627-636, 2007. doi: 10.1590/S0100-06832007000400003
- FU, L. *et al.* Inducing the rhizosphere microbiome by biofertilizer application to suppress banana *Fusarium* wilt disease. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 104, p. 39-48, 2017. doi: 10.1016/j.soilbio.2016.10.008
- GALBIERI, R. *et al.* *Corynespora* leaf blight of cotton in Brazil and its management. *American Journal of Plant Sciences*, v. 5, n. 1, p. 3805-3811, 2014.
- GARCIA, C.; ROLDAN, A.; HERNANDEZ, T. Changes in microbial activity after abandonment of cultivation in a semiarid Mediterranean environment. *Journal of Environmental Quality*, v. 26, n. 1, p. 285-292, 1997. doi: 10.4236/ajqs.2014.526398
- GENRO JR., S.A. *et al.* Atributos físicos de um Latossolo Vermelho e produtividade deculturas cultivadas em sucessão e rotação. *Ciência Rural*, v. 39, n. 1, p. 65-73, 2009. doi: 10.1590/S0103-84782009000100011
- GHINI, R.; MORANDI, M. A. B. Biotic and abiotic factors associated with soil suppressiveness to *Rhizoctonia solani*. *Scientia Agrícola*, v. 63, n. 2, p. 153-160, abr. 2006. doi: 10.1590/S0103-90162006000200007.
- GOEDERT, W.J.; SCHERMACK, M.J.; FREITAS, F.C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, p. 223-227, 2002. doi: 10.1590/S0100-204X2002000200015
- GONÇALVES, V.A. *Características físicas e microbiológicas do solo em sistemas de plantio e sucessões de culturas*. Disponível em:< <http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/4634/texto%20completo.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 20 de mar. 2022.
- GONZÁLEZ-CHÁVEZ, C.A. *et al.* Soil microbial community, C, N, and P responses to long-term tillage and crop rotation. *Soil & Tillage Research*, v. 106 p. 285-293, 2010. doi: 10.1016/j.still.2009.11.008
- GOVAERTS, B. *et al.* Influence of tillage, residue management, and crop rotation on soil microbial biomass and catabolic diversity. *Applied Soil Ecology*, v. 37, p. 18-30, 2007. doi: 10.1016/j.apsoil.2007.03.006
- KLEIN, V. A. *Física do solo*. Ed. Universidade de Passo Fundo. 3º edição, 2014.
- LANZANOVA, M.E. *Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária*. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 132p. (Tese de Mestrado).
- LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Wisconsin, USA: Soil

- Science Society American, p. 37-52, 1994.
- LAVELLE, P. *et al.* Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Biology*, v.42, p.S3-S15, 2006. doi: 10.1016/j.ejsobi.2006.10.002
- LAW, S. E. Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during de 20th century. *Journal Electrostatic*, v. 51-52, p. 25-42, 2001. doi: 10.1016/S0304-3886(01)00040-7
- LIMA, C. G. R. *et al.* Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragem, a porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 6, p. 1233-1244, 2007. doi: 10.1590/S0100-06832007000600002
- LIMA, C. L. R.; PILLON, C. N.; LIMA, A. C. R. *Qualidade Física do Solo: Indicadores Quantitativos*. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 25 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos,196). Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/745869/qualidade-fisica-do-solo-indicadores-quantitativos>. Acesso em 10 mai. 2022.
- MARTINS, J. S. *Compactação do solo no desenvolvimento da cultura do feijão*. 2018. 38 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Universidade Estadual do Norte do Paraná), Bandeirantes, PR. 2018.
- MATSUMOTO, L.S. *et al.* Interactions among functional groups in the cycling of carbon, nitrogen and phosphorus in the rhizosphere of three successional species of tropical woody trees. *Applied Soil Ecology*, v. 28, n. 1. p. 57-65, 2005. doi: 10.1016/j.apsoil.2004.06.008
- MILNE, R.M.; HAYNES, R. J. Comparative effects of annual and permanent dairy pastures on soil physical properties in the Tsitsikamma region of South Africa. *Soil Use Management.*, v.20, p.81-88, 2006. Doi: 10.1111/j.1475-2743.2004.tb00340.x
- MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e Bioquímica do Solo*. Eds. Fátima Maria de Souza Moreira, José Oswaldo Siqueira, Lavras: Editora, UFLA, pp. 626, 2002.
- MOREIRA, W. H. *et al.* Atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração lavoura-pecuária. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, p. 389-400, 2012. doi: 10.1590/S0100-06832012000200008
- MUZILLI, O. Manejo do solo em sistema plantio direto. In: CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R; PASSINI, J. J. (eds.) Sistema Plantio Direto com qualidade. 1.ed. Londrina/ Foz do Iguaçu: IAPAR/ITAIPU Binacional, p.9-27, 2006.
- OLIVEIRA, M. L. *et al.* Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. *Revista Brasileira de engenharia agrícola ambiental*, v. 9, n. 4, 2005. doi: 10.1590/S1415-43662005000400015
- OLIVEIRA, V. C. *Atividade enzimática, população e análise de DNA da biodiversidade microbiana do solo em agroecossistemas do Semi-Árido*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão, p. 108, 2004.
- PRIMAVESI, A. *Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais*. Ed. NBL, 2002. 549 p.
- PREVEDELLO, J. *et al.* A funcionalidade do Sistema poroso do solo em floresta de eucalipto sob Argissolo. *Scientia Forestalis*, v. 41, n. 100, p. 557-566, 2013.
- PURVIS, A.; HECTOR, A. Getting the measure of biodiversity. *Nature*, v. 405, p. 212-219, 2000. doi:10.1038/35012221
- QIU, M. *et al.* Application of bio-organic fertilizer can control *Fusarium* wilt of cucumber plant by regulation microbial community of rhizosphere soil. *Biologic Fertility Soils*, v. 48, p. 807-816, 2012.
- RAMANKUTTY, N. *et al.* Trends in Global Agricultural Land Use: Implications for Environmental Health and Food Security. *Annual Review of Plant Biology*, v. 69, n. 1, p. 789-815, 2018. doi: 10.1146/annurev-arplant-042817-040256
- REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. IN: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 5, p. 49-134, 2007.
- RESENDE, M.; CARVALHO FILHO, A.; LANI, J.L. Características do solo e da paisagem que influenciam a susceptibilidade à erosão. In: *Simpósio sobre manejo e conservação do solo no cerrado*. Goiânia, 1990. Anais. Campinas, Fundação Cargill, p. 32-93. 1992.
- RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J. Estimativa da resistência mecânica à penetração de um Latossolo Vermelho sob cultura perene no norte do Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1817-1825, 2008. doi: 10.1590/S0100-06832008000500003
- RUSER, R. *et al.* Emission of N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> from soil moisture and rewetting. *Soil Biology. Biochemistry*, v. 38, p. 263-274, 2006. doi: 10.1016/j.soilbio.2005.05.005
- SANTOS, G. G. *et al.* Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, p. 1339-1348, 2011. doi: 10.1590/S0100-204X2011001000030
- SAVIOZZI, A. *et al.* Biochemical activities in a degraded soil restored by two amendments: A laboratory study. *Biology Fertility Soils*, v. 35, p. 96-101, 2002. doi: 10.1007/s00374-002-0445-9
- SCAPINELLI, A. *et al.* Sistema radicular e componentes produtivos do girassol em solo compactado. *Bragantia*, v. 75, n. 4, p. 474-486, 2016. doi: 10.1590/1678-4499.286
- SEIXAS, F. *Compactação do solo devido à mecanização, causas e práticas de controle*. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Circular Técnica nº 163, Piracicaba. out. 1988.
- SEVERIANO, E. D. C. *et al.* Compactação de solos cultivados com cana-de-açúcar: I -modelagem e quantificação da compactação adicional após as operações de colheita. *Engenharia Agrícola*, v. 30, n. 3, p. 404-413, 2010. doi: 10.1590/S0100-69162010000300006
- SILVA, A. P. *et al.* Microbial diversity under different soil tillage and crop rotation systems in an oxisol of southern Brazil. *The Open Agriculture Journal*, v. 7, p. 40-47, 2013. doi: 10.2174/1874331501307010040
- SILVA FILHO, R. A. Compactação do solo devida à mecanização agrícola. 2015. *Web Artigos*. Disponível em: <https://www.webartigos.com/artigos/compactacao-do-solodevido-a-mecanizacao-agricola/135347>. Acesso em 10 mai. 2022.
- SILVA, R. R. *et al.* Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes-MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 1585-1592, 2010. doi: 10.1590/S0100-06832010000500011
- SOUZA, J. A.; DAVIDE, A. C. Deposição de serrapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de bracinga (*Mimosa scabrella*) e de eucalipto (*Eucalyptus saligna*) em áreas de mineração de bauxita. *Revista Cerne*, v. 7, n. 1, p. 101-113. 2001. Disponível em <<https://www.redalyc.org/pdf/744/74470109.pdf>>. Acesso em 10 mai. 2022.
- STRECK, C.A. *et al.* Modificações em propriedades físicas com

a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. *Ciência Rural*, v. 34, n. 1, p. 755-760, 2004. doi: 10.1590/S0103-84782004000300016

SUZUKI, L. E. A. S. *Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas do solo e crescimento e rendimento de culturas*. 2005. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/ppgcs/images/Dissertacoes/L.E.A.S.SUZUKI.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2022.

SWITZER, G. L.; NELSON, L. E. Nutrient accumulation and cycling in Loblolly Pine (*Pinus taeda*) plantation ecosystems: The first 20 years. *Soil Science Society of America*, v. 36, n. 1, p. 143 – 147, 1972. doi: 10.2136/sssaj1972.03615995003600010033x.

TAVARES FILHO, J. *Física e Conservação do Solo e da Água*. 1. Ed. Londrina: EDUEL. 2013. 256p.

TORRES, J. L. R.; FABIAN, A. J.; PEREIRA, M. G. Alterações dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. *Ciência Agrárias*, v. 35, n. 1, p. 437-445, 2011. doi: 10.1590/S1413-70542011000300001

VASCONCELOS, R. F. B. *et al.* Qualidade física de Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 4, p. 381–386, 2014. doi: 10.1590/S1415-43662014000400004

VOLPATO, C.E. Cada solo um trato. *Revista Cultivar Máquinas*, v. 1, n. 33. P. 06-09, 2004.

WAGNER, W.A. *Espacialização da compactação do solo e o efeito da escarificação mecânica sob a produtividade da cultura da soja*. 2017. 50 f. Dissertação de Mestrado - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.