

# AVALIAÇÃO DOS ESTOQUES DE CARBONO NO SOLO EM CULTIVO DE HORTALIÇAS SOB PLANTIO DIRETO NA REGIÃO OESTE DO PARANÁ

FELTZ, Lucas Pereira Scheidt<sup>1</sup>  
OLIVEIRA, Milena Santos de<sup>2</sup>  
COUTO, Marina<sup>3</sup>  
MAIA, Auane Aparecida Canavarro<sup>4</sup>  
FRANCISCO, André Luiz Oliveira de<sup>5</sup>  
HOJO, Ellen Toews Doll<sup>6</sup>  
SANTOS, Josiane Bürkner dos<sup>7</sup>

## RESUMO

O Sistema Plantio Direto de Hortaliças (SPDH) é uma técnica conservacionista que faz o cultivo de hortaliças sobre os resíduos de culturas de cobertura. A matéria orgânica do solo (MOS) é essencial para o armazenamento de carbono e para a fertilidade do solo, e sua avaliação é importante para entender o impacto de diferentes sistemas de manejo. Este estudo teve como objetivo avaliar a MOS em um experimento com diversas propostas de rotações de plantas de cobertura em SPDH, realizado na estação de pesquisa do IDR-Paraná em Santa Tereza do Oeste. Foram coletadas amostras de solo em dezembro de 2023 de 12 tratamentos diferentes para análise química e física no Laboratório de Solos da Estação de Pesquisa de Ponta Grossa do IDR-Paraná. As análises incluíram Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Orgânico Particulado (COP) e Carbono Orgânico Associado a Minerais (COAM). O experimento foi conduzido em blocos ao acaso com três repetições e os dados foram analisados com o software SASM-Agri-2001. Os resultados mostraram que, após 3 anos de experimento, não houve alterações estatisticamente significativas no COT e nas frações COAM. No entanto, para o COP, os tratamentos T2, T10 e T11 apresentaram valores superiores na profundidade de 0,0-0,10 m. Os dados indicam que o SPDH tem se mostrado superior ao plantio convencional (PC) no que diz respeito ao COP, é provável que com mais tempo de manutenção do sistema e um maior número de amostras por tratamento se obtenha resultados mais consistente para melhor entender as diferenças entre os tratamentos e identificar as melhores rotações.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conservação do solo. Carbono orgânico. Culturas de cobertura.

## ASSESSMENT OF SOIL CARBON STOCKS IN VEGETABLE CROPPING UNDER NO-TILL SYSTEM IN THE WESTERN REGION OF PARANÁ

## ABSTRACT

The No-Till Vegetable Production System (NTVPS) is a conservation practice in which vegetables are cultivated over residues of cover crops. Soil organic matter (SOM) is essential for carbon storage and soil fertility, and its assessment is important for understanding the impact of different management systems. This study aimed to evaluate SOM in an experiment with different cover crop rotation proposals under NTVPS, conducted at the IDR-Paraná research station in Santa Tereza do Oeste. Soil samples were collected in December 2023 from 12 different treatments for chemical and physical analyses at the Soil Laboratory of the IDR-Paraná Research Station in Ponta Grossa. The analyses included Total Organic Carbon (TOC), Particulate Organic Carbon (POC), and Mineral-Associated Organic Carbon (MAOC). The experiment was conducted in a randomized block design with three replications, and the data were analyzed using the SASM-Agri-2001 software. The results showed that after three years of the experiment, there were no statistically significant changes in TOC and MAOC fractions. However, for POC, treatments T2, T10, and T11 showed higher values at the 0.0–0.10 m soil depth. The data indicate that the NTVPS has shown superiority over conventional tillage (CT) regarding POC. It is likely that with a longer period of system maintenance and a greater number of samples per treatment, more consistent results will be obtained, allowing a better understanding of the differences among treatments and the identification of the most suitable rotations.

**KEYWORDS:** Soil conservation. Organic carbon. Cover crops.

<sup>1</sup> Mestrando UFPR. E-mail: [lucasscheidtfeltz@gmail.com](mailto:lucasscheidtfeltz@gmail.com)

<sup>2</sup> Graduanda em Agronomia. E-mail: [oliveira.milena0401@gmail.com](mailto:oliveira.milena0401@gmail.com)

<sup>3</sup> Graduanda em Agronomia. E-mail: [marinacouto920@gmail.com](mailto:marinacouto920@gmail.com)

<sup>4</sup> Graduanda em Agronomia. E-mail: [auanecanavarro@gmail.com](mailto:auanecanavarro@gmail.com)

<sup>5</sup> Doutor em Agronomia. E-mail: [afrancisco@idr.pr.gov.br](mailto:afrancisco@idr.pr.gov.br)

<sup>6</sup> Doutora em Agronomia. E-mail: [ellendollhojo@fag.edu.br](mailto:ellendollhojo@fag.edu.br)

<sup>7</sup> Doutora em Agronomia. E-mail: [santosjb@idr.pr.gov.br](mailto:santosjb@idr.pr.gov.br)

## **1. INTRODUÇÃO**

O Sistema de Plantio Direto (SPD) teve seu início no Brasil nos anos 70, especificamente na região sul do país, especialmente no estado do Paraná (FIDELIS *et al.*, 2003). O SPD é caracterizado pela ausência de revolvimento do solo, e os resíduos vegetais resultantes contribuem para minimizar os impactos causados pela precipitação pluviométrica, reduzindo assim os processos erosivos (Corrêa e Cruz, 1987). Segundo a Embrapa (2009), a eficiência do SPD deve-se principalmente à cobertura do solo proporcionada pelos restos culturais e pelas plantas de cobertura, melhorando as características físicas, biológicas e químicas do perfil do solo.

O equilíbrio e a conservação do solo, o aumento do teor de matéria orgânica e a maior produtividade são benefícios promovidos pelas plantas de cobertura (Lazaro *et al.*, 2013). Um elemento crucial para a implementação do SPD é a rotação de culturas, alternando entre culturas comerciais e adubos verdes, mantendo o solo sempre coberto e facilitando a reciclagem de nutrientes, o que contribui para o aumento da produtividade (SILVA *et al.*, 2006).

A rotação de culturas, que é definida como a prática agrícola que alterna, em uma mesma área, diferentes culturas sequenciais, seguindo um plano previamente definido (ARNHOLD, RITTER e BALBINOT, 2016). Conceitualmente, consiste em alternar no tempo o cultivo de espécies vegetais numa área específica, preferencialmente com sistemas radiculares distintos (Gaudencio *et al.*, 1986; Calegari, 1990, Broch *et al.* 1997; Santos e Reis, 2003).

Ao optar por não revolver o solo, é possível mitigar a compactação, preservar a estrutura porosa e melhorar a capacidade de infiltração de água, garantindo uma melhor disponibilidade de oxigênio para as raízes das plantas (Gregorich *et al.*, 1994). Essa prática também contribui para a conservação da umidade do solo, reduzindo a taxa de evaporação e aumentando a eficiência no uso da água pelas plantas (Kassam *et al.*, 2009). Além disso, a abordagem sustentável do não revolvimento do solo desempenha um papel fundamental na conservação dos recursos naturais, no aumento da produtividade agrícola e na construção de sistemas de produção mais resilientes (FAO, 2018).

A cobertura do solo e a quantidade de biomassa agem como isolante térmico no sistema, reduzindo a variação de temperatura, minimizando a perda de água por evaporação, proporcionando abrigo e alimento para a biota, inibindo o crescimento de vegetação espontânea, contribuindo para a ciclagem de matéria orgânica e nutrientes e aprimorando a estrutura do solo (SCOPEL *et al.*, 2013; ROBACER *et al.*, 2016). O sistema de plantio direto tem sido associado a um aumento significativo no teor de carbono orgânico do solo em comparação com outros sistemas de cultivo. Esse aumento é crucial, pois melhora a qualidade do solo, eleva a fertilidade e reduz a perda de carbono do solo,

graças à deposição de resíduos vegetais e à redução da erosão (SILVEIRA e STONE, 2001; LOURENTE *et al.*, 2010).

A matéria orgânica presente no solo representa a principal fonte de energia para os microrganismos e de nutrientes essenciais para as plantas. Esses microrganismos utilizam o nitrogênio como fonte de energia, enquanto empregam o carbono proveniente dos resíduos vegetais para sintetizar tecidos próprios. Nesse processo, o carbono serve como fonte de energia, fornecendo estruturas carbonadas para a síntese de diversas biomoléculas, enquanto o nitrogênio é crucial para a produção de proteínas (PULROLNIK, 2009).

O Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH) surgiu com o intuito de construir um sistema que não fosse limitado ao conceito de agricultura conservacionista que além de diminuir as perdas de solo, água e nutrientes, promovesse a eliminação do uso de agrotóxicos e adubos altamente solúveis, diminuindo assim, o custo ambiental e de produção, mantendo e aumentando o rendimento das culturas (FAYAD *et al.*, 2016).

O plantio direto de hortaliças é uma maneira viável em termos de economia para o cultivo orgânico, pois não destrói os microrganismos do solo e proporciona o crescimento da matéria orgânica do solo, além de diminuir os custos. A cobertura morta que o sistema cria irá proporcionar o aumento da eficiência do uso da água no cultivo de hortaliças. O uso da adubação verde no sistema de plantio direto poderá reduzir a colaboração do composto (WILSON *et al.*, 2010).

Dentre as vantagens do SPDH temos a redução da erosão, a palhada protege o solo da ação da chuva e do vento, evitando a erosão e a perda de nutrientes. Melhoria da qualidade do solo, a palhada funciona como uma fonte de matéria orgânica e a capacidade de retenção de água e nutrientes, aumentando a biodiversidade do solo (FERNANDES; TEJO; ARRUDA, 2019). No SPD, o tipo de resíduo cultural adicionado no plantio direto possui elevada quantidade de celulose e menor quantidade de ligninas e, a velocidade de decomposição e taxa de humidificação são alteradas. A diversidade de espécies com maior entrada de compostos orgânicos constituídos de ceras, gorduras, ligninas e polifenóis resulta num fluxo de C mais lento (Sá *et al.*, 2008).

A matéria orgânica nas frações granulométricas mais grosseiras atua como fonte de energia para a biomassa microbiana e os compostos orgânicos mais estáveis liberados desse processo atuam como agentes de ligação das frações mais finas (Feller *et al.*, 1996). A MOS causa a cimentação das partículas de argila formando os agregados, esses por sua vez formam a estabilidade do solo (SÁ *et al.*, 2019). De acordo com Santos (2006) a matéria orgânica surge a partir da transformação do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) da atmosfera através do processo de fotossíntese. A presença de matéria orgânica do solo serve como um indicador da qualidade (Bigatão, 2021).

A verificação do carbono nas frações de MOS fornece dados relevantes sobre a qualidade e aplicabilidade do solo. O fracionamento granulométrico da MOS engloba na separação de duas frações orgânicas, o carbono orgânico particulado (COP) e o carbono orgânico associado aos minerais (COAM) (Nanzer *et al.*, 2019).

O COP é a fração da MOS representada pela separação e peneiramento, associada à fração areia ( $>53\mu\text{m}$ ), tem sua estabilidade no solo relacionado as proteções físicas dos agregados e tem partículas oriundas dos resíduos vegetais e das hifas (Loss *et al.*, 2009). Em contrapartida o COAM, pode ser definido como as frações ligas a silte e argila ( $< 53\mu\text{m}$ ) é notável a interação com a parte superior das partículas minerais, formando complexos organominerais protegidos pelos coloides do solo (Conceição *et al.*, 2005).

Neste experimento, considera-se a utilização de culturas de cobertura apropriadas à região de estudo no SPDH, com o objetivo de otimizar o uso do solo e promover a sua preservação contínua. Isso é alcançado mantendo o solo permanentemente coberto, seja com cobertura morta ou culturas vivas, e explorando diversos nichos no solo por meio das raízes de diferentes perfis estruturais dentro desse sistema.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

O Sistema de Plantio Direto (SPD) teve seu início no Brasil nos anos 70, especificamente na região sul do país, especialmente no estado do Paraná (Fidelis *et al.*, 2003). O SPD é caracterizado pela ausência de revolvimento do solo, e os resíduos vegetais resultantes contribuem para minimizar os impactos causados pela precipitação pluviométrica, reduzindo assim os processos erosivos (Corrêa e Cruz, 1987). Segundo a Embrapa (2009), a eficiência do SPD deve-se principalmente à cobertura do solo proporcionada pelos restos culturais e pelas plantas de cobertura, melhorando as características físicas, biológicas e químicas do perfil do solo.

O equilíbrio e a conservação do solo, o aumento do teor de matéria orgânica e a maior produtividade são benefícios promovidos pelas plantas de cobertura (Lazaro *et al.*, 2013). Um elemento crucial para a implementação do SPD é a rotação de culturas, alternando entre culturas comerciais e adubos verdes, mantendo o solo sempre coberto e facilitando a reciclagem de nutrientes, o que contribui para o aumento da produtividade (Silva *et al.*, 2006).

A rotação de culturas, que é definida como a prática agrícola que alterna, em uma mesma área, diferentes culturas sequenciais, seguindo um plano previamente definido (Arnhold, Ritter e Balbinot, 2016). Conceitualmente, consiste em alternar no tempo o cultivo de espécies vegetais numa área

específica, preferencialmente com sistemas radiculares distintos (Gaudencio *et al.*, 1986; Calegari, 1990, Broch *et al.*, 1997; Santos e Reis, 2003).

Ao optar por não revolver o solo, é possível mitigar a compactação, preservar a estrutura porosa e melhorar a capacidade de infiltração de água, garantindo uma melhor disponibilidade de oxigênio para as raízes das plantas (Gregorich *et al.*, 1994). Essa prática também contribui para a conservação da umidade do solo, reduzindo a taxa de evaporação e aumentando a eficiência no uso da água pelas plantas (Kassam *et al.*, 2009). Além disso, a abordagem sustentável do não revolvimento do solo desempenha um papel fundamental na conservação dos recursos naturais, no aumento da produtividade agrícola e na construção de sistemas de produção mais resilientes (FAO, 2018).

A cobertura do solo e a quantidade de biomassa agem como isolante térmico no sistema, reduzindo a variação de temperatura, minimizando a perda de água por evaporação, proporcionando abrigo e alimento para a biota, inibindo o crescimento de vegetação espontânea, contribuindo para a ciclagem de matéria orgânica e nutrientes e aprimorando a estrutura do solo (SCOPEL *et al.*, 2013; ROBACER *et al.*, 2016). O sistema de plantio direto tem sido associado a um aumento significativo no teor de carbono orgânico do solo em comparação com outros sistemas de cultivo. Esse aumento é crucial, pois melhora a qualidade do solo, eleva a fertilidade e reduz a perda de carbono do solo, graças à deposição de resíduos vegetais e à redução da erosão (SILVEIRA e STONE, 2001; LOURENTE *et al.*, 2010).

A matéria orgânica presente no solo representa a principal fonte de energia para os microrganismos e de nutrientes essenciais para as plantas. Esses microrganismos utilizam o nitrogênio como fonte de energia, enquanto empregam o carbono proveniente dos resíduos vegetais para sintetizar tecidos próprios. Nesse processo, o carbono serve como fonte de energia, fornecendo estruturas carbonadas para a síntese de diversas biomoléculas, enquanto o nitrogênio é crucial para a produção de proteínas (PULROLNIK, 2009).

O Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH) surgiu com o intuito de construir um sistema que não fosse limitado ao conceito de agricultura conservacionista que além de diminuir as perdas de solo, água e nutrientes, promovesse a eliminação do uso de agrotóxicos e adubos altamente solúveis, diminuindo assim, o custo ambiental e de produção, mantendo e aumentando o rendimento das culturas (FAYAD *et al.*, 2016).

O plantio direto de hortaliças é uma maneira viável em termos de economia para o cultivo orgânico, pois não destrói os microrganismos do solo e proporciona o crescimento da matéria orgânica do solo, além de diminuir os custos. A cobertura morta que o sistema cria irá proporcionar o aumento da eficiência do uso da água no cultivo de hortaliças. O uso da adubação verde no sistema de plantio direto poderá reduzir a colaboração do composto (WILSON *et al.*, 2010).

Dentre as vantagens do SPDH temos a redução da erosão, a palhada protege o solo da ação da chuva e do vento, evitando a erosão e a perda de nutrientes. Melhoria da qualidade do solo, a palhada funciona como uma fonte de matéria orgânica e a capacidade de retenção de água e nutrientes, aumentando a biodiversidade do solo (FERNANDES; TEJO; ARRUDA, 2019). No SPD, o tipo de resíduo cultural adicionado no plantio direto possui elevada quantidade de celulose e menor quantidade de ligninas e, a velocidade de decomposição e taxa de humidificação são alteradas. A diversidade de espécies com maior entrada de compostos orgânicos constituídos de ceras, gorduras, ligninas e polifenóis resulta num fluxo de C mais lento (Sá et al, 2008).

A matéria orgânica nas frações granulométricas mais grosseiras atua como fonte de energia para a biomassa microbiana e os compostos orgânicos mais estáveis liberados desse processo atuam como agentes de ligação das frações mais finas (Feller *et al.*, 1996). A MOS causa a cimentação das partículas de argila formando os agregados, esses por sua vez formam a estabilidade do solo (SÁ *et al.*, 2019). De acordo com Santos (2006) a matéria orgânica surge a partir da transformação do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) da atmosfera através do processo de fotossíntese. A presença de matéria orgânica do solo serve como um indicador da qualidade (Bigatão, 2021).

A verificação do carbono nas frações de MOS fornece dados relevantes sobre a qualidade e aplicabilidade do solo. O fracionamento granulométrico da MOS engloba na separação de duas frações orgânicas, o carbono orgânico particulado (COP) e o carbono orgânico associado aos minerais (COAM) (Nanzer *et al.*, 2019).

O COP é a fração da MOS representada pela separação e peneiramento, associada à fração areia (>53µm), tem sua estabilidade no solo relacionado as proteções físicas dos agregados e tem partículas oriundas dos resíduos vegetais e das hifas (Loss *et al.*, 2009). Em contrapartida o COAM, pode ser definido como as frações ligas a silte e argila (< 53µm) é notável a interação com a parte superior das partículas minerais, formando complexos organominerais protegidos pelos coloides do solo (Conceição *et al.*, 2005).

Neste experimento, considera-se a utilização de culturas de cobertura apropriadas à região de estudo no SPDH, com o objetivo de otimizar o uso do solo e promover a sua preservação contínua. Isso é alcançado mantendo o solo permanentemente coberto, seja com cobertura morta ou culturas vivas, e explorando diversos nichos no solo por meio das raízes de diferentes perfis estruturais dentro desse sistema.

### 3. METODOLOGIA

O experimento foi instalado no Polo Regional do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER IDR-Paraná, no município de Santa Tereza do Oeste – PR. O clima da região é classificado segundo Köppen como Cfa (subtropical úmido) (Kishino *et al.*, 2007). Possui uma precipitação média anual situada entre 1.350 e 1.950 mm, com uma temperatura média anual variando de 19 a 24°C. O risco de geada oscila entre 1 a cada 2 anos até 1 a cada 4 anos, conforme dados da SEAB/DERAL (2020).

O solo no experimento foi classificado da região é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico de textura muito argilosa.

Neste trabalho foi realizada a coleta de amostras deformadas de solo, para análise química de rotina, a coleta ocorreu no mês de dezembro de 2023 e foram analisadas no Laboratório de Solos (física e química) do solo do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-Paraná), na Estação Polo Regional de Ponta Grossa.

Com as amostras deformadas foram feitos os fracionamentos granulométricos da Matéria Orgânica do Solo (MOS) conforme Santos (2006), onde avaliou-se as variáveis conteúdo e estoque de Carbono Orgânico Total (COT), e nas frações o Carbono Orgânico Particulado (COP), Carbono Orgânico Associado a Minerais (COAM), para obtenção dos estoques foi necessária à coleta de amostras de densidade para o cálculo dos estoques em cada profundidade. Também foram feitas as avaliações da textura desse solo, nas profundidades amostradas e avaliadas 0-10 cm e 10-20 cm. Foram coletadas amostras em triplicata em cada um dos doze tratamentos (Tabela 1) totalizando 72 amostras.

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos avaliados no experimento.

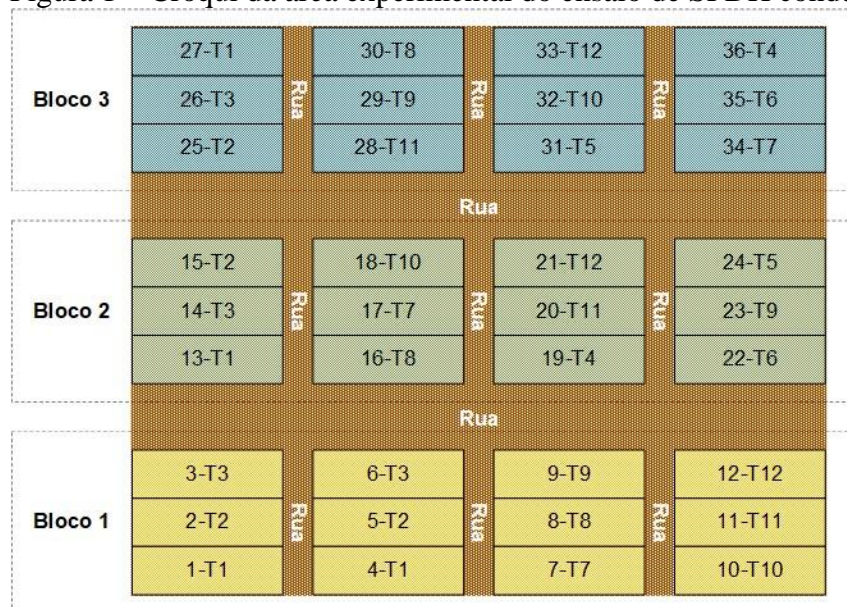
Tratamento	Descrição
1	PC-QUI-G-V-I
2	PD-QUI-MBD-I
3	PD-ORG-MBD-V-I
4	PC-ORG-G-V-I
5	PD-QUI-G-I
6	PD-QUI-G-V
7	PD-QUI-G-L-V
8	PD-QUI-G-L-I
9	PD-QUI-G-L-V-I
10	PD-ORG-G-L-V-I
11	PD-QUI-MBD-V
12	PD-QUI-MBD-V-I

Fonte: próprio autor.

Nota: PC: plantio convencional; PD: plantio direto; ORG: adubação orgânica; QUI: adubação química; G: gramíneas; L: leguminosas; MBD: Mix biodiversidade (gramínea + leguminosa + 3<sup>o</sup> família); V: verão; I: inverno.

A área experimental ficou disposta conforme a Figura 1. As parcelas com os tratamentos T1, T2 e T3 possuem 24m<sup>2</sup> as demais 12m<sup>2</sup>.

Figura 1 – Croqui da área experimental do ensaio de SPDH conduzido em Santa Tereza do Oeste.



Fonte: próprio autor.

As amostras coletadas foram identificadas e posteriormente secas em estufa de ar forçado a 60°C até atingir massa constante.

O fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo (FGMOS) foi realizado de acordo com o método descrito por Feller (1994) e adaptado por Sá *et al.* (2001) e modificado em Santos



(2006). Para a realização do fracionamento granulométrico pesamos 20g de cada amostra deformada de solo já como Terra Fina Seca em Ar (TFSA) e 1 grama de Hexametáfosfato de Sódio em garrafas pet de 600ml, mistura juntamente com 100 ml de água destilada e deionizada, agitando por 15 segundos suavemente e coloca na geladeira por 16 horas.

Após a agitação manual de 15 segundos, os recipientes foram mantidos em geladeira durante 16 h. Posteriormente os recipientes foram submetidos à agitação durante 6 horas em um agitador orbital na frequência de 60 rpm.

Na sequência o solo é passado em peneira de 53µm com auxílio de spray de água deionizada, o material retido na peneira representa a fração do C orgânico particulado (COP) e o material que passou na peneira representa o C orgânico associado aos minerais (COAM).

O material retido na peneira é passado para um Becker de 50 ml de massa conhecida e colocado para secar em estufa de 60°C. O material que passou na peneira cai diretamente em uma proveta de 1L, esse volume até 1 L é preenchido com água deionizada, se necessário, adicionado 1,25g de cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>), agente flocculante, agitado 30 vezes com uma vara de metal deixado em repouso aguardando 24 horas a sedimentação do solo contido na solução.

Após a completa sedimentação do material, o sobrenadante é retirado por gravidade e seco em estufa a 60°C até massa estável.

Após a secagem as amostras foram pesadas para o cálculo de recuperação das amostras, que devem ser no mínimo de 97% das 20 gramas de solo iniciais do processo, se não atingida a recuperação para determinada amostra o processo deve ser refeito. As amostras quando atingida a recuperação, são moídas em grau de porcelana até atingir tamanho de 20 mesh, em seguida, são acondicionadas em sacos plásticos etiquetados e devidamente identificadas e encaminhadas para análise de carbono por oxidação via úmida, conforme Walkley e Black (1934).

A determinação do COT foi realizada por oxidação via úmida, conforme Walkley e Black (1934), modificado por Nelson e Sommers (1996). Foram realizadas nas amostras integrais e nas frações COP e COAM, utilizando-se 1,0 g de solo finamente moída em grau de porcelana. A determinação do Estoque de COT foram feitas nas amostras integrais e nas frações maiores e menores que 53µm. Para o cálculo do estoque de COT COP e COAM, em cada profundidade, foi utilizada a equação 1:

$$\text{EstC} = (\text{COT} \times \text{Ds} \times e) / 10 \dots\dots\dots(1)$$

Em que:

EstC = o estoque de carbono orgânico total em determinada profundidade (Mg ha<sup>-1</sup>);

COT = conteúdo de carbono orgânico total ( $\text{g dm}^{-3}$ );

Ds = densidade do solo em cada profundidade ( $\text{Mg m}^{-3}$ );

e = espessura da camada considerada (cm).

Onde se lê COT pode se substituir por COP e COAM, para os cálculos dos respectivos estoques.

Para granulometria foi realizado pesado os béqueres vazios e anotado a massa. Em seguida foi adicionado 20 gramas de solo, 300ml de água destilada, 10ml de NaOH e 1 bolinha de gude na garrafa pet. Agitado por 30 segundos, em seguida colocar no agitador orbital a 60 rpm, pelo período de 2 horas.

Após agitação, colocar a solução em uma proveta de 1000ml, em seguida adicionada água até completar o volume da proveta. Agitado por 30 segundos com bastão de vara para colocar a solução em suspensão e ficou em repouso por 4 minutos após esse período foi realizada a primeira pipetagem com uma pipeta de 10ml a uma profundidade de 10 cm (Silte + Argila).

Após isso foi deixado em repouso por 4 horas e após este período efetuado a 2ª pipetagem com uma profundidade de 5 cm (Argila).

Após a pipetagem de 4 minutos e 4 horas as alíquotas foram secas. Após a secagem efetuar o peso das amostras para obtenção dos teores de argila (Equação 2) e silte (equação 3).

$$(\text{M. L. S. 4 horas} - 0,004\text{g}) \times 500 = \text{Argila} \dots\dots\dots (2)$$

$$((\text{M. L. S. 4 minutos} - 0,004\text{g}) \times 500) - ((\text{M. L. S. 4 horas} - 0,004\text{g}) \times 500) = \text{Silte} \dots\dots\dots (3)$$

Em que:

M.L.S.= Massa das alíquotas seca

Para determinação da densidade do solo, foram coletadas amostras indeformadas com o utilizando anéis de aço inox com diâmetro de 4,86 cm e altura de 5,31 cm (Blake e Harge, 1986), com o auxílio de um amostrador em minitrincheiras para cada profundidade (0-10 cm e 10-20 cm). Após a coleta da amostra o anel passa pela limpeza e toalete, apenas a amostra de solo contida no anel é retirada e toda reservada em um pacote plástico devidamente identificado. Essa amostra é levada para o laboratório seca a 105°C até peso constante. Então é pesada e é feito o cálculo do valor da densidade pela equação 4:

$$D = \frac{M}{V} \dots\dots\dots (4)$$

Em que:

D= a densidade g cm<sup>3</sup>;

m= massa gramas;

v= cm<sup>3</sup>.

Todos os dados obtidos foram analisados em teste de variância no programa SASM-Agri realizado teste de comparação de medias de Tukey a 5% de probabilidade. Para realizar a comparação entre os anos de avaliação foi delineamento fatorial em dois fatores a 5% de probabilidade.

#### 4. ANÁLISES E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para interpretação dos resultados de textura foi utilizado o diagrama triangular para classificação de textura do solo (Parizzi *et al.*, 2011), onde demonstrou que que na profundidade de 0-10 cm o solo possuiu textura argilosa, já para profundidade 10-20 cm a textura é classificada como muito argilosa (Tabela 2).

Tabela 2 - Densidade dos sistemas de rotação de culturas em três profundidades Santa Tereza. 2023.

	Argila	Silte	Areia
Profundidade	%		
0-10	46,4	28,0	25,5
10-20	65,8	16,4	17,8

Fonte: próprio autor.

Na Tabela 3 observar-se que para densidade do solo, não houve diferenças significativas nas duas profundidades analisadas. Entretanto é evidente que a densidade aparente varia entre as profundidades do solo. Observa-se uma tendência de diminuição na densidade à medida que a profundidade aumenta, o que é consistente com o adensamento natural do solo, que é mais intenso nas camadas mais superficiais, é preciso ressaltar que esse adensamento pode ser maior e até exacerbado devido às práticas agrícolas.

Tabela 3 - Densidade dos sistemas de rotação de culturas em duas profundidades Santa Tereza. 2023.

Tratamento	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	
	0-10	10-20
T1	1,19 (a)	1,14 (a)
T2	1,16 (a)	1,13 (a)
T3	1,13 (a)	1,12 (a)
T4	1,13 (a)	1,09 (a)
T5	1,20 (a)	1,01 (a)
T6	1,16 (a)	1,09 (a)
T7	1,11 (a)	0,94 (a)
T8	1,11 (a)	0,98 (a)
T9	1,19 (a)	1,05 (a)
T10	1,15 (a)	1,04 (a)
T11	1,13 (a)	1,05 (a)
T12	1,11 (a)	0,97 (a)

Fonte: próprio autor.

Nota: T1: PC-QUI-G-V-I; T2: PD-QUI-MBD-I; T3: PD-ORG-MBD-V-I; T4: PC-ORG-G-V-I; T5: PD-QUI-G-I; T6: PD-QUI-G-V; T7: PD-QUI-G-L-V; T8: PD-QUI-G-L-I; T9: PD-QUI-G-L-V-I; T10: PD-ORG-G-L-V-I; T11: PD-QUI-MBD-V; T12: PD-QUI-MBD-V-I. Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

A redução da densidade nas camadas mais profundas também foi observada por Rodrigues *et al.* (2011) corroborando os resultados encontrados. Esses dados são cruciais para compreender como diferentes tratamentos podem afetar a estrutura do solo em diferentes profundidades, influenciando sua capacidade de retenção de água, aeração e suporte para o crescimento das raízes das plantas (BRADY, 2009).

Na Tabela 4, comparando-se o COT em Mg.ha<sup>-1</sup> (Megagrama por hectare equivalente a tonelada por hectare), observa-se que os valores foram, proporcionalmente em média, menores nas camadas mais profundas. Corroborando o que foi encontrado por diversos autores, Sá 2001, Santos 2006, Bayer 1996, etc. É natural que os valores de COT diminuam em profundidades pois a fonte de C é principalmente os resíduos orgânicos vegetais depositados sobre o solo, o C para maiores profundidades vem de resíduos orgânicos como as raízes e seus exsudatos e os lixiviados das camadas superiores. Em comparações proporcionais, verifica-se que, em geral, a camada superior do solo de 0-10 cm os valores de COT são maiores, e não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos.

Tabela 4 - Carbono Orgânico Total (COT) em  $\text{Mg ha}^{-1}$  dos sistemas de rotação de culturas em duas profundidades. Santa Tereza. 2023.

Tratamento	Est.COT ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	
	0-10	10-20
T1	447,2 (a)	370,2 (a)
T2	412,9 (a)	358,7 (a)
T3	421,3 (a)	389,5 (a)
T4	391,2 (a)	297,7 (a)
T5	450,0 (a)	354,9 (a)
T6	409,3 (a)	356,7 (a)
T7	399,4 (a)	287,1 (a)
T8	356,7 (a)	281,7 (a)
T9	458,6 (a)	383,7 (a)
T10	457,7 (a)	369,1 (a)
T11	425,5 (a)	418,9 (a)
T12	442,8 (a)	361,0 (a)

Fonte: próprio autor.

Nota: T1: PC-QUI-G-V-I; T2: PD-QUI-MBD-I; T3: PD-ORG-MBD-V-I; T4: PC-ORG-G-V-I; T5: PD-QUI-G-I; T6: PD-QUI-G-V; T7: PD-QUI-G-L-V; T8: PD-QUI-G-L-I; T9: PD-QUI-G-L-V-I; T10: PD-ORG-G-L-V-I; T11: PD-QUI-MBD-V; T12: PD-QUI-MBD-V-I. Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

Esses resultados são consistentes com estudos anteriores realizados por Gazolla *et al.* (2015) e Carmo *et al.* (2012), os quais também encontraram teores mais elevados de COT nas camadas superficiais do solo em sistemas de plantio.

Os resultados deste estudo também corroboram com os resultados de Lima *et al.* (2016) em um experimento realizado em um Latossolo Vermelho cultivado com hortaliças por seis anos. Segundo estes autores, nos sistemas de manejo com plantio direto de hortaliças foram encontrados maiores teores nas camadas mais superficiais do solo.

Na Tabela 5, observa-se que os valores de carbono orgânico particulado (COP) em média foram mais altos na camada superior do solo de 0-10 cm.

Tabela 5- Carbono Orgânico Particulado (COP) em  $\text{Mg ha}^{-1}$  dos sistemas de rotação de culturas em duas profundidades. Santa Tereza. 2023.

Tratamento	Est.COP ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )			
	0-10		10-20	
T1	396,8	(ab)	266,8	(a)
T2	458,3	(a)	277,2	(a)
T3	387,1	(ab)	273,0	(a)
T4	286,1	(b)	266,0	(a)
T5	358,2	(ab)	321,8	(a)
T6	363,5	(ab)	246,5	(a)
T7	400,8	(ab)	308,4	(a)
T8	427,1	(ab)	265,1	(a)
T9	381,3	(ab)	259,6	(a)
T10	488,7	(a)	264,8	(a)
T11	452,9	(a)	310,2	(a)
T12	411,0	(ab)	270,0	(a)

Fonte: próprio autor.

Nota: T1: PC-QUI-G-V-I; T2: PD-QUI-MBD-I; T3: PD-ORG-MBD-V-I; T4: PC-ORG-G-V-I; T5: PD-QUI-G-I; T6: PD-QUI-G-V; T7: PD-QUI-G-L-V; T8: PD-QUI-G-L-I; T9: PD-QUI-G-L-V-I; T10: PD-ORG-G-L-V-I; T11: PD-QUI-MBD-V; T12: PD-QUI-MBD-V-I. Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

As frações COP originam-se de resíduos vegetais e outros materiais orgânicos recentemente adicionados ao solo. O maior valor de COP em geral é nas camadas mais superficiais do solo, atribuído ao fato dos resíduos jovens e recentes serem depositados sobre a superfície do solo. Em SPD, onde não há revolvimento do solo, a deposição de resíduos culturais ocorre diretamente sobre a superfície do solo, sendo que a deposição de resíduos dentro do solo em SPD ocorre via raízes e deposição de seus exsudatos e a lixiviação de resíduos da superfície para a subsuperfície.

Os estoques de COP em maiores profundidades aumentam de forma lenta e gradual. Isso se deve à incorporação desses materiais em camadas mais profundas através de processos como lixiviação, deposição de raízes, exsudatos de raízes e ação da fauna do solo (micro, meso e macrofauna). A ausência de revolvimento do solo no Sistema Plantio Direto contribui para constância e manutenção desses processos em que a incorporação é predominantemente vertical, resultando em concentrações mais altas de COP nas camadas superficiais e um aumento gradual e constante nos estoques de COP nas camadas mais profundas do solo ao longo do tempo quando da conservação do sistema de manejo do solo em sistema plantio direto.

Nos resultados obtidos nas rotações com o manejo com Plantio Direto os estoques de COT apresentaram valores mais elevados quando comparados ao Plantio Convencional, mesmo com rotações semelhantes e intensificadas com plantio delas no verão e no inverno. Resultados esses que demonstram que o PD contribui significativamente para a manutenção e aumento dos estoques de matéria orgânica do solo.

Na Tabela 5 podemos observar que para o COP que os tratamentos T2, T10 e T11 foram superiores aos outros tratamentos e o T4 foi inferior aos outros tratamentos para a camada 0-10 cm. Os tratamentos T2, T10 e T11 são tratamentos com plantio direto, e o T4 é plantio convencional, provavelmente esse resultado demonstra que o uso de Sistema Plantio Direto é superior para a manutenção e aumento dos estoques de COP em comparação ao Sistema Plantio Convencional. Em estudo semelhante desenvolvido por Melo *et al.* (2016) os valores no SPD foram superiores quando comparados ao cultivo convencional, esse aumento ocorre pelo maior volume de resíduos vegetais depositados no solo nessas regiões.

Entre estes tratamentos também há diferenças nas conduções de rotações de culturas sendo que esses resultados iniciais não nos permitem entender quais fatores estão diretamente afetando os resultados (fatores como qual a adubação: química ou orgânica, ou ainda qual a rotação: mix de 2 ou 3 plantas de cobertura e mais se a intensificação do sistema com uso de plantas de cobertura somente no verão ou somente no inverno ou se no verão e no inverno).

Portanto a manutenção do estudo por mais tempo é necessária para que se consiga discernir e compreender quais os fatores estão afetam mais ou menos os sistemas de rotações e assim qualificar e quantificar a intensidade e influência destes fatores sobre o manejo do solo.

É importante realçar que provavelmente devido ao pouco tempo da implementação deste experimento, ainda não foi possível se observar mais diferenças significativas entre os tratamentos, é sugerido um tempo maior de experimentação, um maior número de amostras e análises, para se poder realmente distinguir as diferenças entre fatores de cada tratamento.

Nos estoques de COAM na Tabela 6 podemos observar que o T4 (PC-ORG-G-V-I) valores menores que os outros tratamentos o que corrobora o que foi encontrado na Tabela 5 para os estoques de COP, no entanto os valores não apresentaram diferenças estatísticas significativas. É preciso ressaltar que normalmente resultados assim são encontrados para estoques de COAM, visto que esta fração é a mais recalcitrante, portanto mais difícil de apresentar mudanças em função de manejo do solo principalmente em pouco tempo de experimentação, e que também essa fração apresenta menores variações no tempo na maioria das situações.

Tabela 6 - Carbono Orgânico Associado aos Minerais em  $\text{Mg ha}^{-1}$  dos sistemas de rotação de culturas em duas profundidades. Santa Tereza. 2023.

Est.COAM ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )			
Tratamento	0-10		10-20
1	321,7	(a)	231,8 (a)
2	350,5	(a)	268,7 (a)
3	324,7	(a)	288,2 (a)
4	308,8	(a)	276,5 (a)
5	317,3	(a)	286,3 (a)
6	359,6	(a)	248,3 (a)
7	314,4	(a)	288,0 (a)
8	328,1	(a)	276,3 (a)
9	321,4	(a)	244,4 (a)
10	321,5	(a)	289,2 (a)
11	333,3	(a)	295,5 (a)
12	327,4	(a)	242,7 (a)

Fonte: próprio autor

Nota: T1: PC-QUI-G-V-I; T2: PD-QUI-MBD-I; T3: PD-ORG-MBD-V-I; T4: PC-ORG-G-V-I; T5: PD-QUI-G-I; T6: PD-QUI-G-V; T7: PD-QUI-G-L-V; T8: PD-QUI-G-L-I; T9: PD-QUI-G-L-V-I; T10: PD-ORG-G-L-V-I; T11: PD-QUI-MBD-V; T12: PD-QUI-MBD-V-I. Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

Os demais valores corroboram com encontrados por Canton *et al.* (2005), onde a os valores de COAM são maiores nas camadas mais superficiais do solo. Podemos ressaltar que apesar dos resultados obtidos na análise estatística, não demonstrarem diferenças entre os tratamentos, enfatizamos que os desvios padrões da MOS normalmente são altos, e para minorar esse fato podemos aumentar o número de análises para termos um “n” maior, alinhando nesta hipótese pode ser que os testes estatísticos consigam demonstrar mais as nuances e diferenças entre tratamentos.

Na Tabela 7, foi avaliada a evolução dos estoques de COP no tempo comparando os tratamentos entre os anos de 2022 e 2023, normalmente a fração COP seria a apresentara as maiores diferenças entre os tratamentos visto que conforme relatado por inúmero autores é a mais sensível as mudanças nos sistemas de manejo do solo a curto prazo e, portanto, mais sensíveis para avaliarmos a qualidade dos sistemas de manejo de solo. Especificamente, ela destaca melhor o impacto desses sistemas nas camadas superficiais do solo de maneira mais eficiente do que o COT e o COAM. Evidenciando a qualidade e diferenças entre os sistemas de rotação de cultura ou de manejo em um curto período.



Tabela 7 - Comparação das frações de COP, nos anos de 2022 e 2023 para as profundidades analisadas.

Est.COP (Mg ha <sup>1</sup> )				
0-10				
Tratamento	2022		2023	
1	346,4	(a)	396,8	(a)
2	409,8	(a)	458,3	(a)
3	283,9	(a)	387,1	(a)
4	330,7	(a)	286,1	(a)
5	317,0	(a)	358,2	(a)
6	297,6	(a)	363,5	(a)
7	297,6	(a)	400,8	(a)
8	325,7	(a)	427,1	(a)
9	262,1	(b)	381,3	(a)
10	328,1	(b)	488,7	(a)
11	352,0	(a)	452,9	(a)
12	365,3	(a)	411,0	(a)

Est.COP (Mg ha <sup>1</sup> )				
10-20				
Tratamento	2022		2023	
1	236,4	(a)	266,8	(a)
2	262,3	(a)	277,2	(a)
3	220,4	(a)	273,0	(a)
4	256,4	(a)	266,0	(a)
5	246,4	(a)	321,8	(a)
6	282,8	(a)	205,7	(a)
7	311,6	(a)	308,4	(a)
8	273,2	(a)	265,1	(a)
9	239,8	(a)	259,6	(a)
10	264,9	(a)	264,8	(a)
11	280,5	(a)	310,2	(a)
12	267,2	(a)	270,0	(a)

Fonte: próprio autor.

Nota: T1: PC-QUI-G-V-I; T2: PD-QUI-MBD-I; T3: PD-ORG-MBD-V-I; T4: PC-ORG-G-V-I; T5: PD-QUI-G-I; T6: PD-QUI-G-V; T7: PD-QUI-G-L-V; T8: PD-QUI-G-L-I; T9: PD-QUI-G-L-V-I; T10: PD-ORG-G-L-V-I; T11: PD-QUI-MBD-V; T12: PD-QUI-MBD-V-I. Médias seguidas por letras iguais nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

Segundo Yang (2024) a presença de leguminosas no processo de rotação de culturas estimula a atividade microbiana do solo, desse modo aumentando os estoques de carbono no solo. Em contrapartida é preciso colocar que, as leguminosas são mais ricas em Nitrogênio, aumentando o aporte desse nutriente nos sistemas, ao mesmo tempo que esse aumento de Nitrogênio acelera as atividades microbianas, ocorre a aceleração dos processos de decomposição, podendo favorecer o aumento dos estoques. Se o sistema estiver em equilíbrio de entradas e saídas, a tendência é de aumento e manutenção destes estoques, mas se houver desequilíbrio os estoques podem ser diminuídos.

Consequentemente o uso de leguminosas nas rotações como podem aumentar a velocidade de decomposição dos resíduos culturais pelo aumento da concentração de Nitrogênio disponível para a microbiota pode ocorrer a aceleração da decomposição, e os estoques serem diminuídos. Em estudo realizado por Loss *et al.* (2009), os estoques de COAM foram os menos afetados pelas diferentes formas de manejo adotadas a curto prazo, resultados que corroboram os que foram encontrados neste experimento.

Na Tabela 7 onde comparamos os estoques das frações COP em dois anos diferente 2022 e 2023 em diferentes camadas observa-se a tendência do aumento das frações de carbono de um ano para outro, principalmente nos tratamentos com PD. Resultados que asseveram que o não revolvimento do solo favorece a deposição de carbono da fração COP principalmente nas camadas mais superficiais. Esse aumento na maioria dos tratamentos demonstra o que foi relatado por Lal (1997), onde o sequestro de C nos solos ocorre por conta dos processos de sedimentação, humificação e agregação.

Pode-se observar que o tratamento T4 teve uma queda nos teores de COP (0-10), nesse tratamento temos o Plantio Convencional (PC) os resultados indicam que esse tratamento teve perdas nos estoques de COP, quando comparamos de um ano para outro na mesma profundidade, quando a maioria dos estoques dos outros tratamentos aumentaram de 2022 para 2023, é preciso observar que esse tratamento fazia o uso de adubação orgânica, demonstrando que o uso da adubação orgânica não necessariamente favorece a preservação dos estoques de COP principalmente na camada 0-10 cm, entretanto não houve diferenças significativas.

Os tratamentos T9: PD-QUI-G-L-V-I e T10: PD-ORG-G-L-V-I foram superiores em 2023, quando comparados aos outros tratamentos, demonstrando que houve um favorecimento destes tratamentos para uma deposição de COP estatisticamente superior. Os dois tratamentos são muito semelhantes entre si variando apenas a adubação o T9 química e o T10 orgânica, sendo a proporção a maior que o ano anterior no T9 - 2023 foi 31,26% maior e no T10 - 2023 foi 32,86%, portanto sem diferenças visíveis entre os tipos de adubação.

Deduz-se que provavelmente estes dois tratamentos foram superiores aos outros devido ao que tem em comum que é a rotação de cultura de mix de Gramínea mais Leguminosa no Verão e no Inverno (G+L-V-I).

Examinando a camada 10 - 20 cm para o COP não houve diferenças estatísticas como a observada na camada mais superficial, fato que corrobora vários outros autores que já observaram que os estoques de COP são menores e variam menos em camadas subsuperficiais.

Os estoques de COAM que podem ser observados na Tabela 8, nota-se que em 2022 os estoques de COAM foram estatisticamente inferiores aos encontrados em 2023, para todos os tratamentos na

camada de 0-10 cm, exceto o tratamento T12. Demonstrando que este solo tem uma boa resiliência na recuperação de estoque de C mais recalcitrante como os da fração COAM. O T12 foi único tratamento que os estoque de COAM foram iguais em 2022 a 2023 na camada de 0-10 cm, estoque que provavelmente é em função dos estoques iniciais que já apresentavam nessas parcelas.

Tabela 8 - Comparação das frações de COAM, nos anos de 2022 e 2023 para as profundidades analisadas.

Est.COAM (Mg ha <sup>1</sup> )				
0-10				
Tratamento	2022		2023	
1	275,7	(b)	321,7	(a)
2	257,7	(b)	350,5	(a)
3	220,3	(b)	324,7	(a)
4	240,5	(b)	308,8	(a)
5	220,5	(b)	317,3	(a)
6	230,8	(b)	359,6	(a)
7	223,2	(b)	314,4	(a)
8	227,0	(b)	328,1	(a)
9	199,4	(b)	321,4	(a)
10	251,2	(b)	321,5	(a)
11	270,8	(b)	333,3	(a)
12	255,0	(a)	327,4	(a)

Est.COAM (Mg ha <sup>1</sup> )				
10-20				
Tratamento	2022		2023	
1	202,6	(a)	231,8	(a)
2	223,4	(a)	268,7	(a)
3	250,6	(a)	288,2	(a)
4	227,7	(b)	276,5	(a)
5	210,3	(a)	286,3	(a)
6	175,6	(b)	248,3	(a)
7	234,7	(a)	288,0	(a)
8	203,0	(b)	276,3	(a)
9	238,7	(a)	244,4	(a)
10	265,3	(a)	289,2	(a)
11	202,0	(b)	295,5	(a)
12	237,2	(a)	242,7	(a)

Fonte: próprio autor.

Nota: T1: PC-QUI-G-V-I; T2: PD-QUI-MBD-I; T3: PD-ORG-MBD-V-I; T4: PC-ORG-G-V-I; T5: PD-QUI-G-I; T6: PD-QUI-G-V; T7: PD-QUI-G-L-V; T8: PD-QUI-G-L-I; T9: PD-QUI-G-L-V-I; T10: PD-ORG-G-L-V-I; T11: PD-QUI-MBD-V; T12: PD-QUI-MBD-V-I. Médias seguidas por letras iguais nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

Na profundidade 10-20 cm para a fração COAM, constatamos que os tratamentos T4-PC-ORG-G-V-I; T6-PD-QUI-G-V; T8-PD-QUI-G-L-I; foram estatisticamente inferiores do ano de 2022 para o ano 2023.

Na comparação entre estes tratamentos não se consegue observar quais os fatores que causaram as diferenças entre esses e os outros, visto que temos plantio direto e convencional, adubação química e orgânica, e rotação de culturas com coberturas solteira, mix de duas plantas e plantio só verão só inverno e verão e inverno. Portanto devido a multiplicidade de fatores é necessário mais tempo de investigação afim que se consiga separar e entender quais fatores estão influenciando estes estoques.

No entanto é importante ressaltar que os estoques foram na maioria dos tratamentos maiores no segundo ano de avaliação demonstrando que este solo tem uma grande capacidade de aumento dos estoques de COAM e, portanto, grande potencial com armazenador de carbono no solo.

Em comparação ao aumento dos estoques de COP e COAM, podemos perceber que o COAM possui uma ciclagem mais lenta, e demora para que ocorra modificações no solo assim como relatado por Bayer *et al.*, (2004).

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os resultados obtidos nas análises de COT, COP e COAM evidenciam importantes características sobre a dinâmica de carbono no solo sob diferentes sistemas de rotação de culturas. Os valores de COT não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos demonstrando que o tempo do experimento para que apresente diferenças entre tratamento ainda foi pequeno necessitando de maior tempo de experimentação e provavelmente necessidade de aumento do número de amostragens e análises para se obter resultados mais expressivos.

Os resultados demonstram que o PD contribui significativamente para a manutenção e aumento dos estoques de matéria orgânica do solo. Comprovando que o uso de Sistema Plantio Direto é superior para a manutenção e aumento dos estoques de COP em comparação ao Sistema Plantio Convencional. Os estoques de COAM foram na maioria dos tratamentos maiores no segundo ano de avaliação demonstrando que este solo tem uma grande capacidade de aumento dos estoques de COAM e, portanto, grande potencial com armazenador de carbono no solo.

Para melhor compreensão destes resultados é necessário maior tempo de experimentação destes sistemas e análises com maior número de amostras e repetições.

## **REFERÊNCIAS**

BIGATÃO, P. R.; TOMAZINI, M.; SALTON, J. C.. Matéria orgânica do solo em função de manejos de lavoura e pecuária. **Jornada de Iniciação a Pesquisa Embrapa**, 2021.

BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Bookman Editora, 2009.

CANTON, L.; LOSS, A.; KURTZ, C.; COMIN, J. J. Fracionamento Granulométrico da Matéria Orgânica sob Sistema Plantio Direto Agroecológico e Convencional da Cebola. **Anais do 35o Congresso brasileiro de ciência do solo, Natal, RN**. 2015.

CARMO, F. F. D.; FIGUEIREDO, C. C. De; RAMOS, M. L. G.; VIVALDI, L. J.; ARAÚJO, L. G. Frações granulométricas da matéria orgânica em latossolo sob plantio direto com gramíneas. **Biosci. j. (Online)** p. 420–431, 2012.

CARVALHO JUNIOR, W D; CALDERANO FILHO, B; CHAGAS, C. D. S. Regressão linear múltipla e modelo Random Forest para estimar a densidade do solo em áreas montanhosas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1428–1437, 2016.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 777–788, 2005.

CURI, N.; KÄMPF, N. **Pedologia Fundamentos**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2015. v. 1

DERAL/SEAB. Previsão de Safras 2020. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/deral/safras>.

EMBRAPA. **Embrapa demonstra vantagens do plantio direto, da subsolagem e da integração lavoura-pecuária**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/3162901/embrapa-demonstra-vantagens-do-plantio-direto-da-subsolagem-e-da-integracao-lavoura-pecuaria>>.

EMBRAPA. **Frutas e hortaliças - Portal Embrapa**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/grandes-contribuicoes-para-a-agricultura-brasileira/frutas-e-hortalicas>>.

FACTOR, T. L. Produção de beterraba em plantio direto sob diferentes palhadas. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 50º. Resumos... Guarapari: SOB (CD-Rom)**. 2010.

FAO. (2018). Agricultura de Conservação. Obtido em <http://www.fao.org/conservation-agriculture/en/>

FIDELIS, R. R.; ROCHA, R. N. C.; LEITE, U. T.; TANCREDI, F. D. Alguns aspectos do plantio direto para a cultura da soja. **Bioscience Journal**, v. 19, n. 1, p. 23-31. 2003.

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

GREGORICH, E.G., CARTER, M.R., ANGERS, D.A., MONREAL, C.M., ELLERT, B.H. Rumo a um conjunto mínimo de dados para avaliar a qualidade da matéria orgânica do solo em solos agrícolas. **Canadian Journal of Soil Science**, 1994.

KASSAM, A., FRIEDRICH, T., SHAXSON, F., PRETTY, J. A disseminação da agricultura de conservação: justificação, sustentabilidade e aceitação. **Jornal Internacional de Sustentabilidade Agrícola**, 2009.

- KISHINO, A. Y.; CARVALHO, S. L. C.; ROBERTO, S. R. Viticultura tropical: o sistema de produção no Paraná. Instituto ed. Londrina-PR: 2007.
- LAL, R. Carbon Management in Agricultural Soils. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 12, n. 2, p. 303–322, 2007.
- LIMA, C. E. P.; FONTENELLE, M. R.; MADEIRA, N. R.; SILVA, J. D.; GUEDES, Í. M. R.; SILVA, L. R. B.; SOARES, D. C. Compartimentos de carbono orgânico em Latossolo cultivado com hortaliças sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s. l.], v. 51, n. 4, p. 378–387, 2016.
- LOSS, A; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1067–1072, 2009.
- MELO, G. B.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; GUARESCHI, R. F.; SOARES, P. F. C. Estoques e frações da matéria orgânica do solo sob os sistemas plantio direto e convencional de repolho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1511–1519, 2016.
- MELO, P. C. T.; VILELA, N. J. **Importância da cadeia produtiva brasileira de hortaliças**. 2007.
- NANZER, M. C.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F. Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 136–145, 2019.
- NANZER, M. C.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F.; BARRETA, P. G. V.; OLIVEIRA, T. P. De; SILVA, J. R. M. Da; PAULINO, L. A. Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 136–145, 2019.
- OHLAND, T.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F. Influência da densidade do solo no desenvolvimento inicial do pinhão-mansão cultivado em Latossolo Vermelho eutroférico. **Revista Ceres**, v. 61, p. 622–630, 2014.
- PARIZZI, M. G.; ARANHA, P. R. A.; COSTA, R. D. Da; FILHO, J. A. da S.; TUPINAMBÁS, M. M.; CAJAZEIRO, J. M. D. Geofísica e sedimentologia aplicadas à avaliação do grau de assoreamento de trecho do rio das velhas em rio acima, minas gerais. **Geonomos**, 2011. Disponível em: <<https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistageonomos/article/view/11769>>.
- PICCOLO, A. **Humus and soil conservation**. In: PICCOLO, A. (Ed.) Humic substances in terrestrial ecosystems. Amsterdam: Elsevier Science, 1996. p.225-264.
- RACHWAL, M. F. G.; ZANATTA, J. A.; PORFIRIO-DA-SILVA, V. Impacto de sistemas produtivos nos estoques de carbono e nitrogênio do solo na Região Noroeste do Paraná. 2022. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1148886>>. Acesso em: 1 nov. 2023.
- REETZ, H. F. **Fertilizers and their efficient use**. Paris: International Fertilizer industry Association, IFA, 2016.

RODRIGUES, S.; SILVA, A. P. D.; GIAROLA, N. F. B.; ROSA, J. A. Permeabilidade ao ar em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 105–114, 2011.

SÁ, J. C.M ; DOS SANTOS, J. B.; CANALLI, L. B. dos S.; INAGAKI, T. M.; GONÇALVES, D. R. P.; ROMANIW, J.; FERREIRA, A. de O.; BRIEDIS, C. **Manual de manejo e conservação do solo e da água para o estado do Paraná**. v. 1

SANTOS, H. P. DOS; REIS, E. M. **Rotação de culturas em plantio direto**. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 212p.

SANTOS, J. B. **Alterações no estoque e taxa de sequestro de carbono em um Latossolo Vermelho submetido a sistemas de manejo**. 2006. 120 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2006.

SCHENKEL, A. A Olericultura como uma opção para o pequeno estabelecimento rural: A possibilidade de produção para o mercado Não-Me-Toquense. **Revista Teoria e Evidência Econômica**, v. 3, n. 06, 1995.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. **O solo como sistema**. Edição dos autores. Curitiba PR: 2015. v. 1

YANG, X.; XIONG, J.; DU, T.; JU, X.; GAN, Y.; LI, S.; XIA, L.; SHEN, Y.; PACENKA, S.; STEENHUIS, T. S.; SIDDIQUE, K. H. M.; KANG, S.; BUTTERBACH-BAHL, K. Diversifying crop rotation increases food production, reduces net greenhouse gas emissions and improves soil health. **Nature Communications**, v. 15, n. 1, p. 198, 2024.