

Universidade Federal de Pelotas – UFPel
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água



DISSERTAÇÃO

Fauna edáfica, matéria orgânica e atributos físicos de um Argissolos sob plantio direto: impacto a curto prazo dos diferentes sistemas de cultivo

Raysa de Souza Lemos

Pelotas, 2024

Raysa de Souza Lemos

**FAUNA EDÁFICA, MATÉRIA ORGÂNICA E ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM
ARGISSOLOS SOB PLANTIO DIRETO: IMPACTO A CURTO PRAZO DOS
DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Dr^a Lizete Stumpf

Coorientador: Dr Filipe Selau Carlos

Pelotas, 2024

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

L555f Lemos, Raysa de Souza

Fauna edáfica, matéria orgânica e atributos físicos de um Argissolos sob plantio direto [recurso eletrônico] : impacto a curto prazo dos diferentes sistemas de cultivo / Raysa de Souza Lemos ; Lizete Stumpf, orientadora ; Filipe Selau Carlos, coorientador. — Pelotas, 2023.

41 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. Atividade biológica. 2. Resíduo orgânico. 3. Qualidade estrutural. I. Stumpf, Lizete, orient. II. Carlos, Filipe Selau, coorient. III. Título.

CDD 631.4

Raysa de Souza Lemos

FAUNA EDÁFICA, MATÉRIA ORGÂNICA E ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM
ARGISSOLOS SOB PLANTIO DIRETO: IMPACTO A CURTO PRAZO DOS
DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO

Dissertação aprovada, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, do curso de pós-graduação em manejo e conservação da água e do solo na Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data de defesa: 26/02/2024

Banca examinadora:

Prof.^a Dr^a Lizete Stumpf

Doutora em Ciências do Solo - Universidade Federal de Pelotas

Prof.^a Dr^a Maria Cândida Moitinho Nunes

Doutora em Ciências do Solo - Universidade Federal de Pelotas

Dr^a Marilia Alves Brito Pinto

Doutora em Ciências do Solo - Universidade Federal de Pelotas

RESUMO

A fauna do solo beneficia-se de sistemas com baixo revolvimento das camadas agrícolas, bem como do aumento da cobertura do solo promovido pelo plantio direto. Nesta análise, destacamos a macrofauna e a mesofauna do solo. O monitoramento da densidade e diversidade dessas comunidades fornece insights valiosos sobre os serviços ecossistêmicos prestados ao solo sob manejo agrícola. Diante das mudanças climáticas, promover a resiliência dos solos agrícolas é crucial para a sobrevivência das culturas e na promoção da segurança alimentar. Esta dissertação teve como objetivo avaliar os efeitos de curto prazo do plantio direto na comunidade edáfica, na matéria orgânica e nos atributos físicos do solo, considerando a sucessão e rotação de culturas. O estudo foi realizado na UFPEL em Capão do Leão-RS, em um solo do tipo Argissolo Amarelo Distrófico Típico, comparando os efeitos de diferentes tratamentos com culturas de inverno em sucessão e/ou rotação com culturas de verão em plantio direto: T01 Monocultivo (pousio/soja); T02 Sucessão (azevém/soja); T03 Rotação (azevém/soja, azevém/milho); T04 Rotação (nabo + azevém/soja, azevém/milho); T05 Rotação (azevém/soja, erva-milho). Foram coletados monólitos para a identificação dos organismos da macrofauna, e para a mesofauna foram utilizadas armadilhas de pitfall que permaneceram em campo por sete dias. Posteriormente, uma amostra foi levada ao laboratório para a utilização dos Funis de Tullgren. Foram analisados a granulometria, porosidade total, macroporosidade e densidade do solo nos atributos físicos do solo, o carbono orgânico total para os atributos químicos, e, no atributo biológico, foram contabilizados e identificados os organismos da macro e mesofauna. Índices de Shannon (H') e equitabilidade de Pielou (e) para as comunidades encontradas foram estimados, determinando a diversidade ou dominância entre os organismos da fauna edáfica. Os resultados indicaram que os tratamentos de rotação foram mais eficazes em promover a abundância e diversidade da macro e mesofauna, bem como em melhorar a estrutura física do solo, aumentando a porosidade total e reduzindo a densidade. Além disso, observou-se um aumento nos teores de matéria orgânica nos tratamentos sob rotação de culturas. Esses achados sustentam a hipótese de que a rotação de culturas pode favorecer a biodiversidade do solo e melhorar suas condições físicas e de matéria orgânica a curto prazo, contribuindo para a qualidade e sustentabilidade do ambiente agrícola.

Palavras-chave: Atividade biológica. Resíduo orgânico. Qualidade estrutural.

ABSTRACT

The soil fauna benefits from systems with low disturbance of agricultural layers, as well as from increased soil cover promoted by no-till farming. In this analysis, we highlight the soil macrofauna and mesofauna. Monitoring the density and diversity of these communities provides valuable insights into the ecosystem services provided to the soil under agricultural management. In the face of climate change, promoting the resilience of agricultural soils is crucial for the survival of crops and the promotion of food security. This dissertation aimed to evaluate the short-term effects of no-till farming on the soil community, organic matter, and physical attributes of the soil, considering crop succession and rotation. The study was conducted at UFPEL in Capão do Leão-RS, in a Rhodic Lixisol, comparing the effects of different treatments with winter crops in succession or rotation with summer crops in no-till farming: T01 Monoculture (fallow/soybean); T02 Succession (ryegrass/soybean); T03 Rotation (ryegrass/soybean, ryegrass/corn); T04 Rotation (turnip + ryegrass/soybean, ryegrass/corn); T05 Rotation (ryegrass/soybean, vetch/corn). Monoliths were collected to identify the macrofauna organisms, and pitfall traps were used for the mesofauna, remaining in the field for seven days. Subsequently, a sample was taken to the laboratory for the use of Tullgren funnels. The granulometry, total porosity, macro porosity, and density were analyzed for the physical attributes of the soil, total organic carbon for the chemical attributes, and the organisms of the macro and mesofauna were counted and identified for the biological attribute. Shannon (H') and Pielou's evenness (e) indices for the found communities were estimated, determining the diversity or dominance among the soil fauna organisms. The results indicated that the rotation treatments were more effective in promoting the abundance and diversity of macro and mesofauna, as well as in improving the soil's physical structure by increasing total porosity and reducing density. Additionally, an increase in organic matter content was observed in the treatments under crop rotation. These findings support the hypothesis that crop rotation can favor soil biodiversity and improve its physical conditions and organic matter in the short term, contributing to the quality and sustainability of the agricultural environment.

Keywords: Biological activity. Organic residue. Structural quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Índice Pluviométrico (mm), julho e agosto no ano 2022 e 2023 em Capão do Leão-RS	18
Figura 2: Desenho experimental e descrição dos tratamentos sob Plantio Direto em Capão do Leão-RS.....	19
Figura 3: Amostra de monólito coletado em Plantio Direto em Capão do Leão-RS (a) e identificação dos grupos taxonômicos (b)	20
Figura 4: Funil de Berlese-Tullgren (GARAY, 1989) do Laboratório de Biologia do solo, UFPEL (a) e armadilha de queda (pitfall) (b)	21
Figura 5: Umidade do solo (%) dos diferentes tratamentos sob Plantio Direto nos anos 2022 e 2023 em Capão do Leão-RS	24
Figura 6: Teor de Matéria orgânica do solo (%) em Plantio Direto nos anos 2022 e 2023	25
Figura 7: Densidade do solo (g cm ³) sob Plantio Direto nos anos 2022 e 2023.....	26
Figura 8: Macro porosidade e Porosidade total (cm ³ cm ⁻³) nos anos 2022 e 2023 sob plantio direto em Capão do Leão- RS	28
Figura 9: Frequênci a relativa dos organismos da macrofauna do solo sob Plantio Direto, no ano de 2022, em Capão do Leão-RS	29
Figura 10: Frequênci a relativa dos organismos da macrofauna do solo sob plantio direto, no ano de 2023, em Capão do Leão-RS	30
Figura 11: Total de indivíduos (m ²) da macrofauna nos anos 2022 e 2023, em Capão do Leão-RS	31
Figura 12: Índice de diversidade de Shannon (H') e índice de Equitabilidade Pielou (e) da Macrofauna do solo sob Plantio Direto em Capão do Leão-RS.....	32
Figura 13: Frequênci a relativa dos organismos da mesofauna na Serrapilheira-solo sob Plantio Direto, no ano de 2022, no Capão do Leão-RS.....	33
Figura 14: Frequênci a relativa dos organismos da mesofauna na Serrapilheira-solo sob Sistema de Plantio Direto, no ano de 2023, em Capão do Leão-RS	34
Figura 15: Total de organismo da mesofauna do solo sob plantio direto, nos anos 2022 e 2023, em Capão do Leão-RS.....	35
Figura 16: índice de diversidade de Shannon (H') e índice de Equitabilidade Pielou (e) da Mesofauna do solo sob Plantio Direto em Capão do Leão-RS	36

LISTA DE TABELA

Tabela 1: classe textural da camada 0- 0,10 m dos tratamentos sob plantio direto..19	
Tabela 2: Teores de Matéria orgânica no solo (g kg ⁻¹) sob plantio direto anos 2022 e 2023	25
Tabela 3: Densidade do solo (g cm ⁻³) sob plantio direto em Capão do Leão-RS, anos 2022 e 2023	26
Tabela 4: Macroporosidade (cm ³ m ⁻³) e porosidade total (cm ³ cm ⁻³) sob plantio direto em Capão do Leão-RS, anos 2022 e 2023	27
Tabela 5: Correlações entre os atributos da macrofauna (minhocas e outros Macro), Mesofauna (Ácaros, Colembolos e outros Meso), aspectos físicos (Densidade - Ds, Porosidade total - Pt e Macroporosidade - Ma) e Carbono Orgânico Total (COT), após dois anos de implantação de Plantio Direto (ano 2023)	36

SUMÁRIO

Introdução	10
Revisão de literatura	13
Comunidade edáfica	13
A saúde do solo e os cultivos agrícolas	14
Material e métodos	18
Descrição da área experimental	18
Amostragem de solo e análises laboratoriais	20
Análise estatística	22
Resultados e Discussão	24
Considerações finais	38
Referências Bibliográficas	39

Introdução

No Brasil houve mudanças significativas no manejo do solo a partir da década de 70, especialmente com a intensificação das práticas de revolvimento do solo no modelo de produção convencional. Isso, juntamente com o desmatamento e as queimadas para a expansão agrícola, contribuiu significativamente para a perda da cobertura vegetal protetora do solo, resultando na diminuição da fertilidade desse ecossistema. Embora as tecnologias e métodos tenham impulsionado a produtividade agrícola, eles também desencadearam uma série de problemas ambientais.

As práticas de revolvimento do solo nos sistemas agrícolas convencionais resultam em perdas de cerca de até 50% nos teores de matéria orgânica, afetando significativamente a funcionalidade do solo ao longo do tempo (JANZEN *et al.*, 2021). Segundo o Censo Agropecuário do IBGE (2017), no Brasil, 2.752.277 estabelecimentos agropecuários utilizaram algum tipo de sistema de preparo de solo, com 1.059.697 adotando o cultivo mínimo e apenas 553.382 dos estabelecimentos optam pelo plantio direto na palhada.

A diminuição da movimentação do solo e a adição de cobertura ao solo, por meio de práticas de conservação como o Sistema Plantio Direto (SPD), promovem a melhoria progressiva do conteúdo de carbono orgânico no solo (LEITE *et al.*, 2016; BLANCO-CANQUI; RUIS, 2018). O manejo com pouca mobilização do solo e o plantio em cobertura são características do plantio direto, sendo considerado um método agrícola com baixa emissão de carbono, que traz benefícios para toda a sociedade, ajudando a diminuir os custos de produção, graças à maior eficiência no uso de recursos e da força de trabalho (MOTTER; ALMEIDA, 2015).

O SPD baseado na utilização de diferentes culturas em sucessão ou rotação, preservando os resíduos culturais na superfície e evitando o revolvimento, resulta na melhoria dos atributos físicos, biológicos e químicos do solo (SILVA *et al.*, 2020). A rotação dos cultivos é uma prática essencial no manejo do solo, contribuindo para a recuperação da estrutura do solo, a diversificação da vida no solo, a mobilização de nutrientes, o controle de espécies invasoras e o aumento da produção (BLANCO-CANQUI; RUIS, 2018). O resíduo orgânico depositado na superfície do solo, em quantidade e qualidade, alimenta a comunidade biológica, resultando na melhoria dos teores de matéria orgânica em relação ao tempo de adoção do sistema de cultivo, promovendo a fertilidade do solo (WULANNINGTYAS *et al.*, 2021).

Os organismos edáficos habitam a serrapilheira e as camadas onde têm atividade radicular, vivendo permanentemente ou parte do ciclo de vida no solo. A macrofauna abrange invertebrados que realizam atividades como escavação, ingestão e transporte de material mineral e orgânico no solo. Esses organismos modelam o ambiente ao criar galerias, ninhos, câmaras e gerar coprólitos. Tais estruturas exercem influência significativa na agregação do solo, na aeração, no movimento da água, na matéria orgânica e na composição, abundância e diversidade microbiana no solo (MOREIRA *et al.*, 2008; LAVELLE *et al.*, 2016; VELÁSQUEZ; LAVELLE, 2019; FAO, 2020). A mesofauna refere-se aos microartrópodes do solo, com destaque para os ácaros e os colêmbolos, habitam as cavidades do solo, promovendo a formação de microagregados coprogênicos que aumentam a superfície de interações bioquímicas ativas no solo. Além disso, desempenham um papel crucial na transformação da matéria orgânica do solo (ZAGATTO *et al.*, 2019; FAO, 2020).

A densidade e diversidade da macro e mesofauna são ferramentas poderosas no monitoramento da saúde do solo, pois são afetadas pela atividade antrópica que reduz a disponibilidade de recursos e refúgios. Quanto mais longa e mais complexa for a comunidade edáfica, mais estável será o ecossistema solo, melhor será a integridade dessa teia de organismos (VELÁSQUEZ; LAVELLE, 2019). Nesse sentido, a estabilidade do SPD é influenciada principalmente pela matéria orgânica, pela fauna edáfica e pelo sistema radicular, além de fatores abióticos.

A preocupação com a produtividade agrícola e a saúde do solo está em alta. Assim, a recuperação da saúde do solo tornou-se um dos principais objetivos das políticas voltadas para enfrentar a emergência climática. Essas iniciativas estão sendo implementadas em diferentes níveis, desde o nacional até o global, com o intuito de promover a vitalidade desse sistema vivo, que desempenha um papel fundamental na prestação de diversos serviços ecossistêmicos (COSTANTINI; MOCALI, 2022).

Neste contexto, esta pesquisa tem como objetivo avaliar os benefícios de curto prazo do plantio direto na comunidade edáfica, no teor de matéria orgânica e nos atributos físicos de um solo sujeito à rotação e sucessão de culturas. Avaliar especificamente a abundância e a diversidade de organismos edáficos da macro e mesofauna após 1 e 2 anos de implantação do plantio direto; avaliar a dinâmica da matéria orgânica no solo após 1 e 2 anos de implantação do plantio direto; avaliar os

atributos físicos do solo, a partir da densidade, macroporosidade e porosidade total após 1 e 2 anos de implantação do plantio direto.

Nossa hipótese é de que a rotação de culturas promove maior abundância e diversidade dos organismos da macro e mesofauna em um solo sob plantio direto, nos primeiros dois anos de estabelecimento, em relação à sucessão de culturas, com consequências diretas na melhoria dos teores de matéria orgânica e na condição física do solo.

Revisão de literatura

Comunidade edáfica

A diversidade biológica presente no solo desempenha um papel fundamental na sustentação da vida na Terra. Embora os seres visíveis, como animais e plantas, recebam mais atenção, 25% dessa riqueza da diversidade biológica encontra-se no solo, caracterizado como o ecossistema mais dinâmico do planeta. A heterogeneidade de habitats no solo, que varia de escala nanométrica a quilométrica, proporciona um abrigo para uma vasta biodiversidade, desempenhando um papel crucial na perpetuação dos processos da biosfera e na própria existência da vida (MOREIRA *et al.*, 2008; VELÁSQUEZ; LAVELLE, 2019).

Os organismos edáficos habitam a serrapilheira e as camadas onde têm atividade radicular, vivem permanentemente ou parte do ciclo de vida no solo. Apesar de abundantes e com diversas ecologias, esses organismos ainda são pouco explorados. Entre os primeiros 0,10 m temos os organismos da macrofauna de diâmetro >2 mm, são táxons que podem ser vistos a olho nu como as minhocas (Oligochaeta) e os besouros (Coleóptera), e a mesofauna, organismos com diâmetro entre 0,2 até 2 mm, representados pelos ácaros (Acari) e colêmbolos (Collembola) principalmente, que precisam de apoio microscópico para identificação. Essa comunidade exerce grande influência sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (LAVELLE *et al.*, 2016; FAO, 2020; LAVELLE *et al.*, 2022).

A macrofauna abrange invertebrados que realizam atividades como escavação, ingestão e transporte de material mineral e orgânico no solo. Esses organismos modelam o ambiente ao criar galerias, ninhos, câmaras e gerar coprólitos. Tais estruturas exercem influência significativa na agregação do solo, na aeração, no movimento da água, na matéria orgânica e na composição, abundância e diversidade de outros organismos no solo. Agem na transformação de resíduos vegetais, desempenhando papéis de predadores e/ou engenheiros do ecossistema, movendo-se pelo solo e, assim, modificando-o. As fezes desses organismos desempenham papel crucial para a atividade microbiana no solo (MOREIRA *et al.*, 2008; LAVELLE *et al.*, 2016; VELÁSQUEZ; LAVELLE, 2019; FAO, 2020).

Os principais serviços ecossistêmicos promovidos pela macrofauna são fundamentais para a regulação climática e para a ciclagem de nutrientes, como a decomposição, mineralização e humificação de resíduos orgânicos. Além disso, contribuem para a imobilização e mobilização de macro e micronutrientes, bem

como na fixação de nitrogênio. A estabilidade estrutural e conservação do solo também estão entre suas atribuições, assim como o impacto na regulação de pragas e doenças. Essa biota, em conjunto com a matéria orgânica, é responsável pela produção primária na ciclagem de nutrientes (VELÁSQUEZ; LAVELLE, 2019; MOREIRA *et al.*, 2008).

A mesofauna refere-se aos microartrópodes do solo, com destaque para os ácaros e os colêmbolos, especialmente em ambientes de manejo agrícola. Estes organismos habitam as cavidades do solo, promovendo a formação de microagregados coprogênicos que aumentam a superfície de interações bioquímicas ativas no solo. Além disso, desempenham um papel crucial na transformação da matéria orgânica do solo. Suas interações com os microrganismos são geralmente benéficas e recíprocas: ao passarem pelos tratos gastrointestinais desses invertebrados, os resíduos vegetais são fragmentados e umedecidos, resultando na excreção de pellets fecais. Essas contribuições são fundamentais para a saúde e fertilidade do solo (ZAGATTO *et al.*, 2019; FAO, 2020).

A macro e a mesofauna são ferramentas poderosas no monitoramento da saúde do solo, pois são afetadas pela atividade antrópica que reduz a disponibilidade de recursos e refúgios. A densidade e diversidade de organismos por m² refletem na qualidade do manejo do solo. Quanto mais longa e mais complexa for a comunidade edáfica, mais estável será o ecossistema solo, melhor será a integridade dessa teia de organismos (VELÁSQUEZ; LAVELLE, 2019).

A saúde do solo e os cultivos agrícolas

O uso de máquinas e práticas de revolvimento do solo no Brasil se intensificou na década de 70. Aliado ao desmatamento e às queimadas, visando a expansão agrícola, o manejo convencional de produção agrícola contribuiu de maneira marcante para as perdas da cobertura vegetal que resguarda o solo, resultando na diminuição da fertilidade desse ecossistema. As tecnologias e métodos impulsionaram a produtividade agrícola por um momento, porém desencadearam uma série de problemas ambientais.

É importante compreender os efeitos das práticas de manejo do solo, principalmente para a manutenção da saúde do solo, pois o manejo convencional, com o uso intensivo de máquinas agrícolas, como arados e grades, pode levar à compactação das camadas subsuperficiais do solo, afetando a sua estabilidade

estrutural. A estabilidade do solo também se reflete na qualidade dos recursos hídricos, pois os processos de infiltração, retenção e percolação da água são diretamente afetados pela estrutura do solo.

A estabilidade dos agregados do solo é prejudicada pela frequência de mobilização no manejo convencional. O grau de compactação é um indicativo de mudanças nos atributos físicos e pode provocar resistência à penetração das raízes, alterações na macroporosidade, porosidade total e densidade do solo (PEDRON; DALMOLIN, 2019). Essas práticas podem levar à degradação do solo, perda de biodiversidade, esgotamento de recursos naturais e contaminação dos recursos hídricos devido à erosão do solo e ao escoamento de produtos químicos utilizados na agricultura (LEITE *et al.*, 2014).

As práticas de revolvimento do solo nos sistemas agrícolas resultam em perdas de até 50% nos teores de matéria orgânica nos primeiros meses (SANTOS *et al.*, 2008), o que impacta significativamente a funcionalidade do solo ao longo do tempo. Segundo o Censo Agropecuário do IBGE (2017), no Brasil, 2.752.277 estabelecimentos agropecuários utilizaram algum tipo de sistema de preparo de solo, sendo que 1.059.697 adotaram o cultivo mínimo e 553.382 optaram pelo plantio direto. Apesar de apenas 20% dos estabelecimentos optarem pelo plantio direto, entre 2006 e 2017, foi registrado um aumento de 84,9% dessa prática em áreas de culturas anuais, passando de 17,9 para 33,0 milhões de hectares (LLANILLO-FUENTES *et al.*, 2021).

O Plantio Direto, como método agrícola de baixo carbono, proporciona vantagens para toda a sociedade, contribuindo para a redução dos custos por unidade produzida graças à otimização da eficiência dos insumos e da mão de obra (MOTTER; ALMEIDA, 2015). Para otimizar a eficácia do plantio direto no Brasil, especialmente na região Sul, é recomendável incluir práticas adicionais, como o cultivo em curva de nível e a instalação de terraços agrícolas. O cultivo em curva de nível é a prática de conservação mais comumente associada a esse sistema, enquanto os terraços agrícolas são menos utilizados (TELLES *et al.*, 2019).

O plantio direto se destaca ao empregar diferentes culturas em rotação, mantendo os resíduos culturais na superfície e evitando o revolvimento do solo, o que resulta na melhoria dos atributos físicos, biológicos e químicos do solo (SILVA *et al.*, 2020). A rotação de culturas contribui para restaurar a estrutura do solo, diversificar a vida do solo, mobilizar nutrientes e controlar espécies invasoras. A

redução do revolvimento do solo e a incorporação de resíduos orgânicos promovem a recuperação gradual do teor de carbono orgânico (LEITE *et al.*, 2016; BLANCO-CANQUI; RUIS, 2018).

A rotação de culturas contribui para a formação da serrapilheira, fornecendo proteção física contra processos erosivos, perda de umidade e aumento da temperatura no solo. Esse resíduo orgânico, em quantidade e qualidade, alimenta a comunidade biológica, resultando na melhoria de atributos químicos, como a capacidade de troca catiônica (CTC) e os teores de matéria orgânica (MO), ao longo do tempo de adoção do sistema de cultivo, promovendo a fertilidade do solo (WULANNINGTYAS *et al.*, 2021).

Sistemas que adotam a rotação de culturas ampliam os rendimentos das colheitas em comparação com a sucessão de culturas, especialmente na produção de grãos como milho e soja, o que contribui para aumentar a lucratividade da área. As rotações de culturas diversificadas, caracterizadas pela alta variedade de plantas e entrada de biomassa, desempenham um papel fundamental na promoção da sustentabilidade da produção de grãos, especialmente em áreas sob SPD. Esses sistemas diversificados mostram-se economicamente competitivos e representam opções viáveis para conservar os recursos naturais e fortalecer a capacidade das culturas de resistir às condições climáticas adversas (GARBELINI *et al.*, 2020).

A saúde dos cultivos agrícolas sob práticas como o plantio direto é diretamente influenciada pela reposição de biomassa na cobertura do solo. Isso potencializa a atividade na rizosfera, incluindo a fauna edáfica e o sistema radicular, incrementando a matéria orgânica no ecossistema do solo. De acordo com Li *et al.* (2021), a saúde do solo não se refere apenas à composição do solo em si, mas também à sua capacidade de promover as funções relevantes ao ambiente em que está inserido. Isso significa que o termo tem pouco significado para um solo separado de seu ecossistema, sendo que as propriedades que conferem essa saúde são dependentes do local e do tempo (JANZEN *et al.*, 2021).

A preocupação com a produtividade agrícola e a saúde do solo tem aumentado com as mudanças climáticas. Assim, a recuperação da saúde do solo tornou-se um dos principais objetivos das políticas voltadas para enfrentar a emergência climática, implementadas em âmbito nacional, continental e global. Essas iniciativas visam promover a vitalidade desse sistema vivo, fundamental para a prestação de diversos serviços ecossistêmicos (COSTANTINI; MOCALI, 2022).

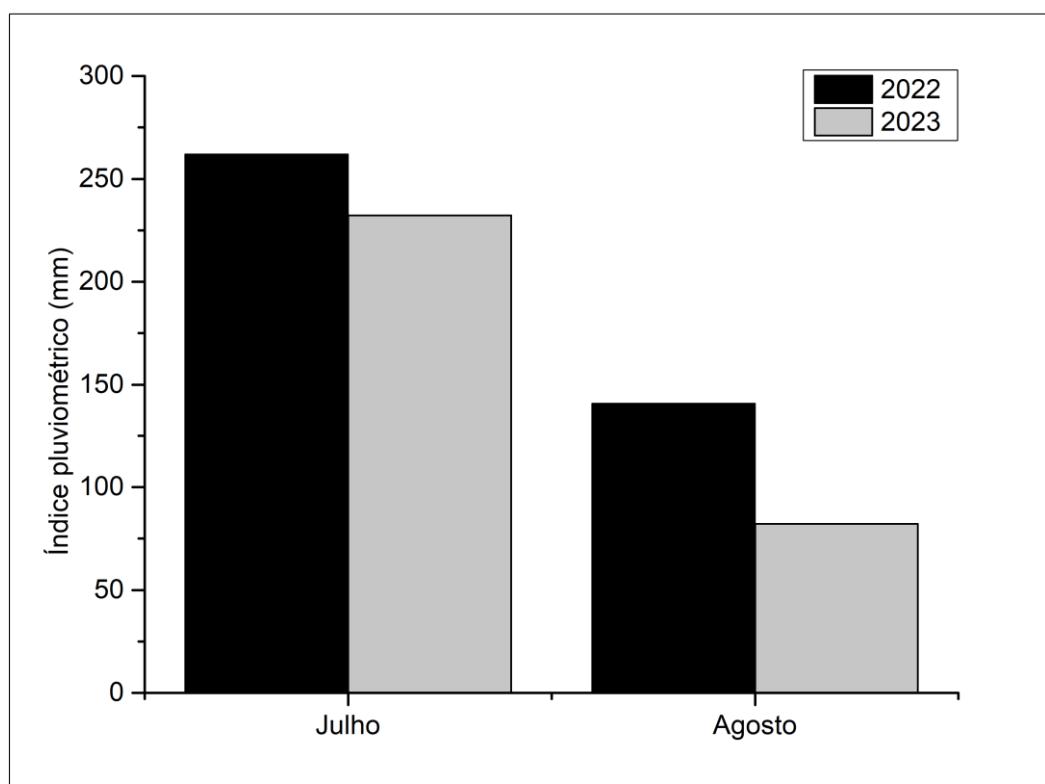
Além disso, é de suma importância apoiar os agricultores na transição de seus sistemas de cultivo convencionais para sistemas conservacionistas, como o plantio direto, por exemplo. Os governantes devem estar cientes de que o apoio a esses sistemas trará benefícios não apenas a longo prazo, mas também imediatamente. Por fim, é crucial reconhecer que a contínua degradação do solo e da biodiversidade representa uma ameaça à sobrevivência da humanidade. Assim como o problema das mudanças climáticas, a destruição do solo e da biodiversidade colocam em risco não apenas o planeta, mas também a própria sociedade (KASSAM *et al.*, 2022).

Material e métodos

Descrição da área experimental

O estudo foi realizado na área experimental do Centro Agropecuário da Palma, localizada no município de Capão do Leão - RS, situado a $31^{\circ}45' 45''$ de latitude Sul, $52^{\circ}19' 55''$ de longitude Oeste. O clima da região é do tipo Cfa, úmido em todas as estações do ano, apresentando uma temperatura média de 25°C no verão e 15°C no inverno, com precipitação média anual de 1.350 mm (ALVARES *et al.*, 2013). Na figura 1 apresenta-se os índices pluviométricos dos meses julho e agosto, ano 2022 e 2023. Estes são os meses que antecederam a coleta de amostras da comunidade biológica do solo.

Figura 1: Índice Pluviométrico (mm), julho e agosto no ano 2022 e 2023 em Capão do Leão-RS



Fonte: INMET, 2024

O solo da área é classificado como Argissolo Amarelo, pela classificação brasileira de solos (SANTOS *et al.*, 2018) ou Rhodic Lixisol (IUSS, 2014), apresentando na camada de 0-10 m a classe textural Franco Argilo Arenoso (Tabela 1). Os atributos químicos do solo na camada 0- 10 m no ano de 2023 foram: pH do solo (KCl) de 5,73; teores de cálcio e magnésio de 2,63 e 1,46 cmol dm⁻³ respectivamente; e teor de matéria orgânica de 2,35 %.

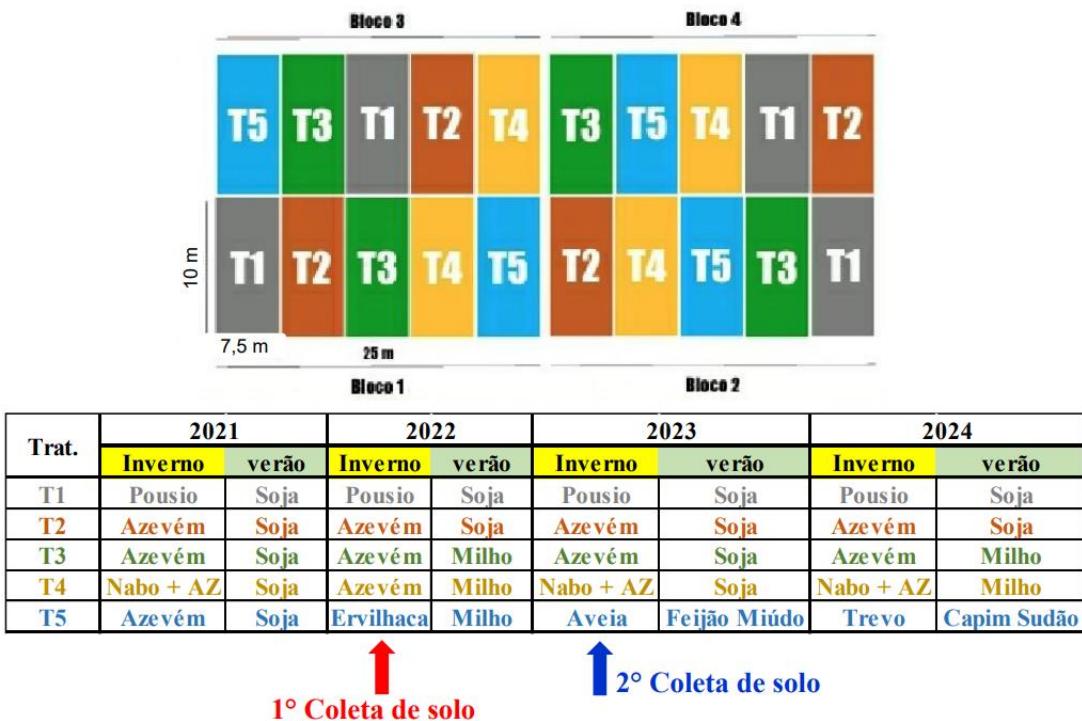
Tabela 1: classe textural da camada 0- 0,10 m dos tratamentos sob plantio direto

Tratamentos	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Classe Textural
T01	24,4	14,1	61,6	Franco argilo arenosa
T02	24,4	14,7	61	Franco argilo arenosa
T03	24,4	14,0	61,7	Franco argilo arenosa
T04	24,4	15,2	60,5	Franco argilo arenosa
T05	23,7	13,6	62,7	Franco argilo arenosa

Fonte: Autoria

O delineamento experimental foi realizado em parcelas divididas em 4 blocos e 5 tratamentos, sendo que cada parcela ocupa uma área de 75 m² (10 x 7,5 m) (Figura 2). A principal diferença entre os tratamentos estar relacionada com o manejo das culturas, com culturas de inverno em sucessão e/ou rotação com culturas de verão, a serem implementadas até o final de 2024.

Figura 2: Desenho experimental e descrição dos tratamentos sob Plantio Direto em Capão do Leão-RS



Fonte: Autoria

Entre os tratamentos com o manejo convencional, temos o T01 com pousio e monocultivo da soja. O T02 inclui a sucessão de culturas no manejo, azevém no inverno e soja no verão em ambos os anos. Os tratamentos que incluem a rotação de culturas no manejo temos, O T03 com azevém no inverno e soja no verão, no ano seguinte, azevém no inverno e milho no verão. O T04 nabo+azevém no inverno e soja no verão, no ano seguinte, azevém no inverno e milho no verão. O T05, azevém no inverno e soja no verão, no ano seguinte, ervilhaca no inverno e milho no verão.

Amostragem de solo e análises laboratoriais

Amostras de solo foram coletadas nos dias 29 de agosto de 2022 e 08 de agosto de 2023, durante o período de inverno, para avaliação de atributos da biologia do solo, como macrofauna e mesofauna, teores de matéria orgânica do solo (MOS) e atributos relacionados à física do solo, tais como densidade, macro e microporosidade, e porosidade total.

Para a avaliação da macrofauna, foi adotada a metodologia dos monólitos de solo (Anderson; Ingram, 1993), com a coleta de amostras em proporções de 20cm x 20 cm x 20 cm em cada tratamento, totalizando 20 monólitos em cada um dos anos (2022 e 2023). As amostras foram enviadas ao Laboratório de Biologia do Solo da UFPel para análise, onde os organismos foram contabilizados e identificados em grupos taxonômicos (Figura 3a-b). Na avaliação da macrofauna, foram considerados os organismos visíveis a olho nu e, em geral, com diâmetro corporal superior a 2 mm (LAVELLE *et al.*, 2016).

Figura 3: Amostra de monólito coletado em Plantio Direto em Capão do Leão-RS (a) e identificação dos grupos taxonômicos (b)



Fonte: Autora

Na avaliação da mesofauna, foram coletados anéis volumétricos a 10cm de profundidade, em 2022 e 2023, com aproximadamente 565,49 cm³, totalizando 20 amostras em ambos os anos. Essas amostras foram retiradas e armazenadas sob refrigeração. O solo contido nos anéis foi transferido para o funil de Berlese-Tullgren no Laboratório de Biologia do solo (GARAY, 1989) (Figura 4a), composto por um funil posicionado sobre um frasco contendo álcool 70%. Uma malha fina na extremidade mais larga do funil permite a passagem dos organismos, que migram para o fundo

da armadilha devido ao fototropismo negativo, causado pela presença de uma lâmpada acesa sobre os materiais.

Figura 4: Funil de Berlese-Tullgren (GARAY, 1989) do Laboratório de Biologia do solo, UFPEL (a) e armadilha de queda (pitfall) (b)



Fonte: Autora

Após a remoção dos anéis, foram colocadas armadilhas de queda (pitfall) nas parcelas (Figura 4b), compostas por recipientes plásticos de 10 cm de diâmetro por 10 cm de altura, contendo uma solução de água destilada com 4% de formol. Essas armadilhas foram posicionadas nos locais onde os anéis foram retirados e mantidas no campo por 7 dias, protegidas do sol e da chuva por uma telha de barro apoiada em um suporte. Após a remoção das armadilhas, estas foram refrigeradas e os organismos contados e identificados taxonomicamente. Os organismos da macro e mesofauna obtidos nas armadilhas, tanto pelo funil de Berlese-Tullgren quanto pela armadilha de queda, foram identificados com o auxílio de um estereomicroscópio STEMI 305 da Zeiss.

Com base nos dados coletados, a abundância e a diversidade dos organismos foram determinadas utilizando o índice de Shannon ($H = -\sum P_i \log P_i$, onde P_i representa a proporção do grupo dentro da amostra) (Magurran, 1988). Este índice varia em uma escala de 0 a 5, refletindo a riqueza de grupos taxonômicos na amostra. Além disso, a Equitabilidade de Pielou ($e = H / \log S$, em que H é o índice de Shannon e S é o total de grupos) foi calculada. Este índice varia de 0 a 1, sendo que valores menores indicam uma maior dominância de um grupo sobre os outros na amostra.

Para avaliar os teores de matéria orgânica do solo (MOS), foram coletadas amostras compostas da camada de 0 a 10 cm usando o trado de rosca, totalizando 40 amostras em 2022 e 20 amostras em 2023. As amostras foram enviadas ao

Laboratório de Química do IFSUL, onde a determinação do carbono orgânico total (COT) foi feita pelo método de combustão (TEIXEIRA *et al.*, 2017). Para isso, 1 grama de solo seco foi pesado e transferido para um Erlenmeyer de 250 ml, ao qual foram adicionados 10 ml de K₂Cr₂O₇ e agitados. Em seguida, foram acrescentados 20 ml de H₂SO₄ e a mistura foi deixada em repouso por 10 minutos dentro da capela. Posteriormente, foram adicionados 100 ml de água destilada e 3 gotas do indicador (o-fenantrolina-sulfato-ferroso). As médias dos teores de COT foram multiplicadas por 1,742 para apresentar os resultados em porcentagem de MOS, de acordo com o manual de adubação e calagem dos solos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS, 2016).

A densidade e a porosidade do solo foram analisadas utilizando o método do anel volumétrico descrito por Teixeira *et al.* (2017), que envolve a amostragem do solo em sua estrutura indeformada dentro de um anel cilíndrico metálico com um volume aproximado de 86 cm³. As coletas foram realizadas na camada de 0-10 cm, totalizando 40 amostras no ano de 2022 e 20 amostras no ano de 2023. No laboratório de Física do Solo da UFPel, as amostras foram saturadas por capilaridade por 24 horas e, em seguida, pesadas. Posteriormente, foram submetidas à mesa de tensão com uma pressão de 6 kPa para drenagem da água dos macroporos. Após essa etapa, as amostras foram pesadas novamente e então levadas à estufa a 105 °C por 24 horas para a determinação da massa seca do solo. Por fim, as amostras foram pesadas para calcular a densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total de cada uma.

Análise estatística

Para a abundância de organismos da biologia do solo houve o somatório de todos os organismos da macrofauna encontrados nos monolitos, enquanto para a mesofauna houve o somatório dos organismos encontrados nos funis Berlese-Tullgren e nas armadilhas de queda (pitfall). Tanto para a macrofauna como para a mesofauna foram apresentadas as porcentagens relativas de cada grupo taxonômico, em cada um dos anos avaliados (2022 e 2023).

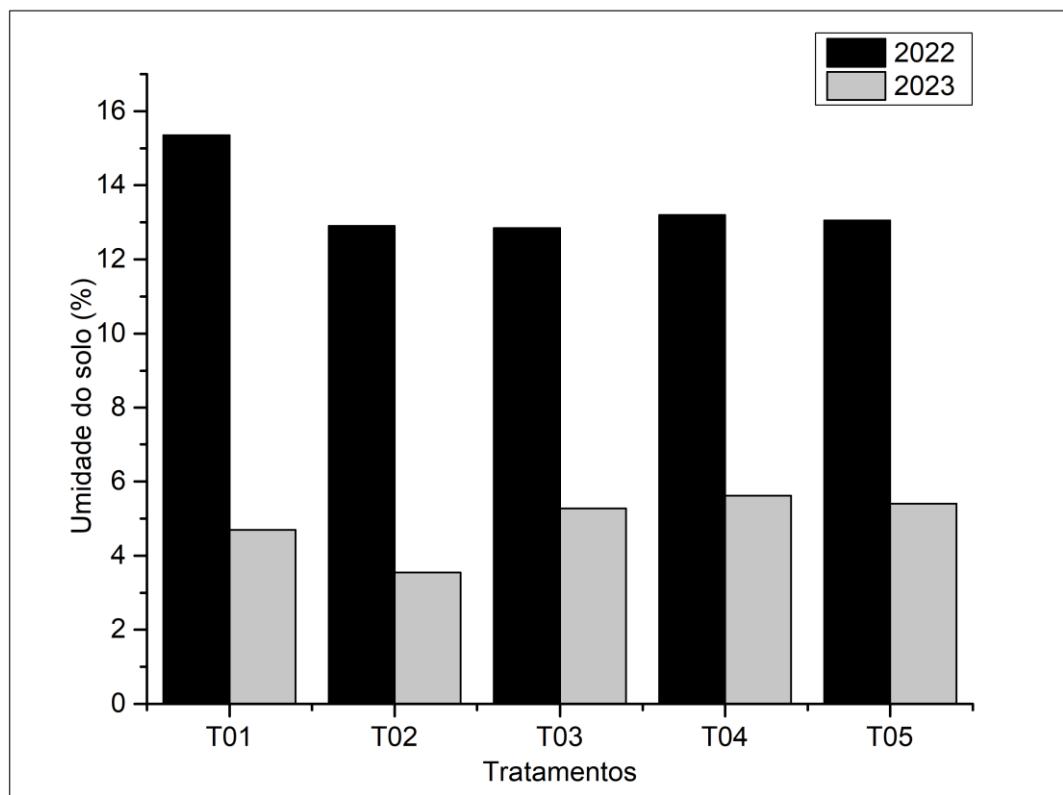
Os teores de MOS e os atributos da física do solo (Densidade do solo, Macroporosidade e Porosidade total), em cada um dos anos avaliados, foram submetidos à análise de variância, e uma vez que houve efeito do tratamento, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

A evolução de todos os atributos do solo obtidos entre os anos de 2022 e 2023 foram submetidos ao teste T pareado ($p<0,10$), e a relação entre as variáveis de solo determinados em 2023, foi obtida pela correlação de Pearson ($p<0,10$).

Resultados e Discussão

Na análise dos atributos físicos do solo em 2022, a umidade do solo variou de >12% a <16%, enquanto em 2023 variou de >3% a <6% (Figura 5). É importante notar que em 2022, a coleta foi realizada quando todos os tratamentos estavam sob cultura de inverno, enquanto em 2023, os tratamentos T03, T04 e T05 ainda estavam sob resteva de milho.

Figura 5: Umidade do solo (%) dos diferentes tratamentos sob Plantio Direto nos anos 2022 e 2023 em Capão do Leão-RS



Fonte: Autoria

Ao analisarmos os teores de matéria orgânica do solo nos tratamentos dos anos de 2022 e 2023, não foram encontradas diferenças significativas entre eles (Tabela 2). Contudo, após dois anos de adoção do plantio direto, foram observados aumentos consideráveis nos níveis de matéria orgânica nos tratamentos T02, T04 e T05. De fato, os teores de matéria orgânica no solo aumentaram de 2% para 2,58% no T02, de 1,8% para 2,56% no T04 e de 2,03% para 2,31% no T05 em 2023 (Figura 6). A introdução desses compostos orgânicos tem impacto positivo na fertilidade do solo em sistemas de plantio direto, como destacado por Wulanningtyas *et al.* (2021). Em nossa análise, observamos que esse aumento pode ocorrer de

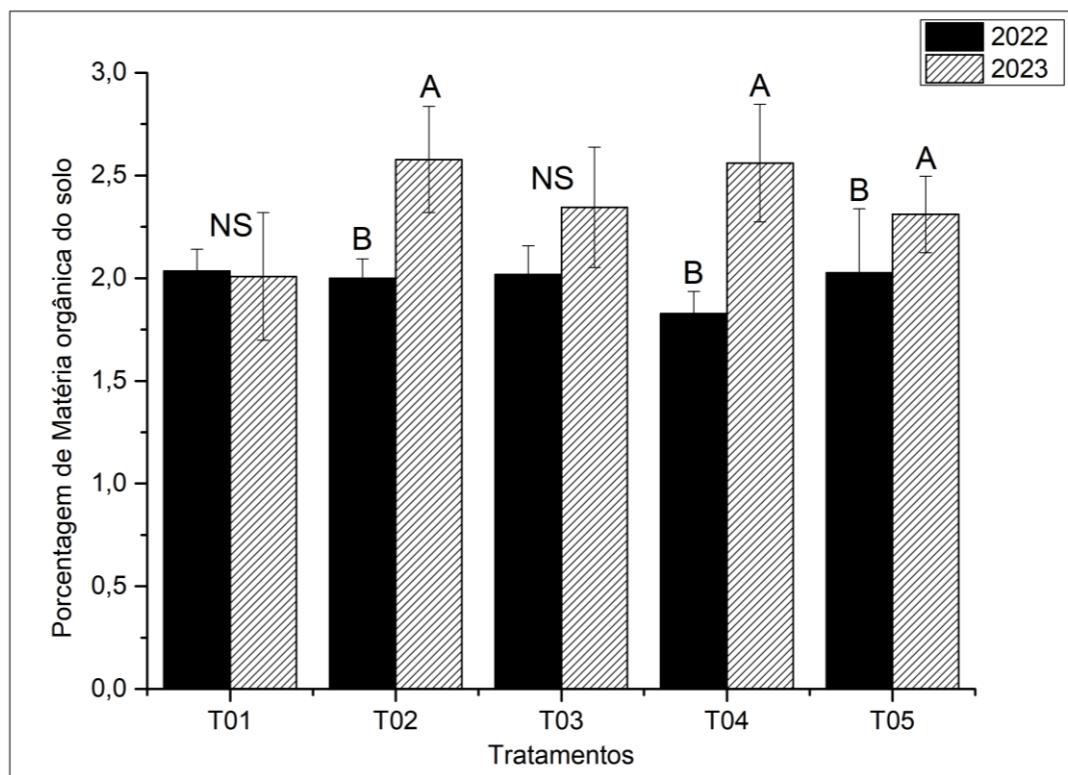
forma significativa em apenas dois anos, conforme os resultados dos tratamentos em T02 (sucessão), T04 e T05 (rotação) (Figura 6). Apesar dos avanços, teores inferiores a 2,5% continuam sendo considerados baixos de acordo com as recomendações do CQFS (2016) (Tabela 2).

Tabela 2: Teores de Matéria orgânica no solo (g kg^{-1}) sob plantio direto anos 2022 e 2023

	Teor de MOS (g kg^{-1})	
	2022	2023
T01	$2,03 \pm 0,10$ ns	$2,01 \pm 0,31$ ns
T02	$2,00 \pm 0,09$	$2,58 \pm 0,25$
T03	$2,02 \pm 0,14$	$2,34 \pm 0,29$
T04	$1,83 \pm 0,10$	$2,56 \pm 0,28$
T05	$2,03 \pm 0,31$	$2,31 \pm 0,18$

Letras minúscula na coluna demostram significância entre os tratamentos no teste Tukey $p<0,05$. ns: Não significativo. Fonte: Autora

Figura 6: Teor de Matéria orgânica do solo (%) em Plantio Direto nos anos 2022 e 2023



Letras maiúsculas na coluna demostram significância ao teste T pareado ($p<0,10$). NS: não significativo. Fonte: Autora

Quanto à densidade do solo (Ds), não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos em 2022 e 2023, conforme apresentado na Tabela 3. No entanto, houve uma redução significativa da Ds nos tratamentos T04 e T05 (rotação) em 2023, em comparação com 2022, com seus valores diminuindo de

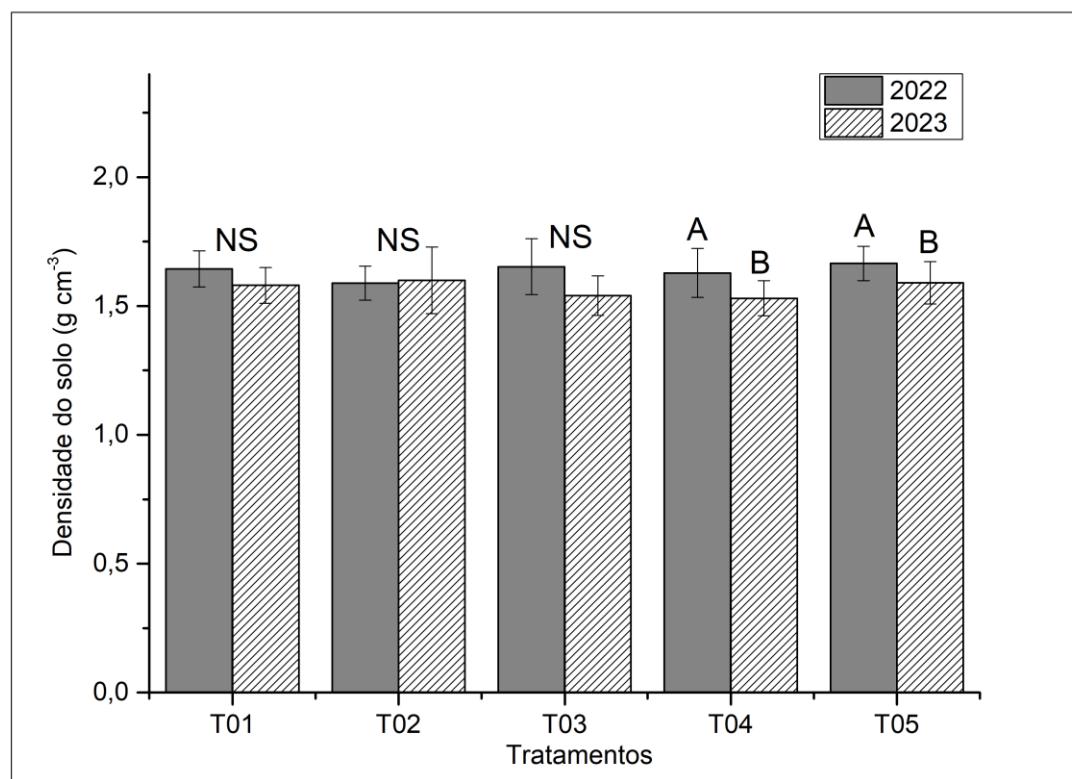
1,63 para 1,53 g cm⁻³ e de 1,66 para 1,59 g cm⁻³, respectivamente (Figura 7). A queda na Ds está possivelmente associada ao aumento do volume do sistema radicular das culturas em rotação nos tratamentos T04 e T05, juntamente com o aumento da atividade da fauna edáfica e o incremento da matéria orgânica do solo em 2023.

Tabela 3: Densidade do solo (g cm⁻³) sob plantio direto em Capão do Leão-RS, anos 2022 e 2023

Tratamento	Densidade (g cm ⁻³)	
	2022	2023
T1	1,64 ± 0,07 ns	1,58 ± 0,07 ns
T2	1,59 ± 0,07	1,60 ± 0,13
T3	1,65 ± 0,010	1,56 ± 0,08
T4	1,63 ± 0,10	1,55 ± 0,07
T5	1,66 ± 0,07	1,56 ± 0,08

Letras minúscula na coluna demostram significância no teste Tukey p<0,05. ns: Não significativo. Fonte: Autora

Figura 7: Densidade do solo (g cm⁻³) sob Plantio Direto nos anos 2022 e 2023



Letras maiúsculas na coluna demostram significância ao teste T pareado (p<0,10). NS: não significativo. Fonte: Autora

Em relação a Macroporosidade e a Porosidade total do solo não houve diferença significativa entre os tratamentos sob plantio direto no ano de 2022 e 2023 (Tabela 4). Contudo, em 2023 observamos incrementos significativos em relação a 2022. Isto é, a macroporosidade apresentou ganhos em todos os tratamentos, de

83,3% no T02 a 175% no T05, enquanto na Porosidade total os maiores incrementos foram T03, T04 e T05 (Figura 8).

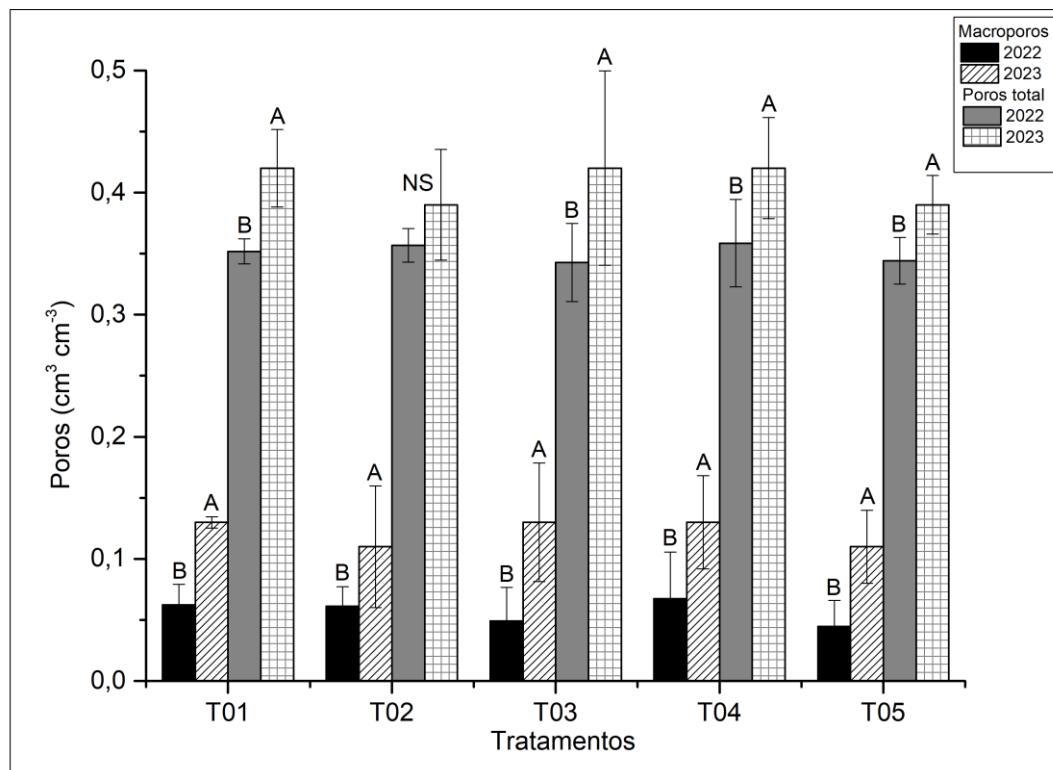
Os incrementos na macroporosidade e porosidade total determinam o espaço disponível para o desenvolvimento radicular e para o habitar da comunidade edáfica. São nestes espaços porosos que acontecem as reações entre a fase líquida, sólida e gasosas, o tamanho das partículas e os tipos de minerais influenciam na estabilidade desta estrutura. Em solos com textura arenosa no bioma pampa, o arranjo das partículas primárias resulta em uma distribuição de poros de maior tamanho, o que facilita o acesso microbiano à matéria orgânica. Os agentes ligantes orgânicos são oxidados mais facilmente, e a estabilidade dos agregados é extremamente dependente da contínua adição/aporte de resíduos vegetais e da atividade da fauna edáfica (PEDRON; DALMOLIN, 2019).

Tabela 4: Macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{ m}^{-3}$) e porosidade total ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) sob plantio direto em Capão do Leão-RS, anos 2022 e 2023

Tratamento	Macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{ m}^{-3}$)		Porosidade total ($\text{cm}^3 \text{ m}^{-3}$)	
	2022	2023	2022	2023
T1	$0,06 \pm 0,02$ ns	$0,13 \pm 0,00$ ns	$0,35 \pm 0,01$ ns	$0,42 \pm 0,03$ ns
T2	$0,061 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,05$	$0,36 \pm 0,01$	$0,39 \pm 0,05$
T3	$0,05 \pm 0,04$	$0,13 \pm 0,05$	$0,34 \pm 0,04$	$0,43 \pm 0,08$
T4	$0,06 \pm 0,04$	$0,11 \pm 0,04$	$0,35 \pm 0,04$	$0,42 \pm 0,04$
T5	$0,04 \pm 0,02$	$0,12 \pm 0,03$	$0,34 \pm 0,02$	$0,40 \pm 0,02$

Letras minúscula na coluna demostram significância no teste Tukey $p<0,05$. ns: Não significativo
Fonte: Autora

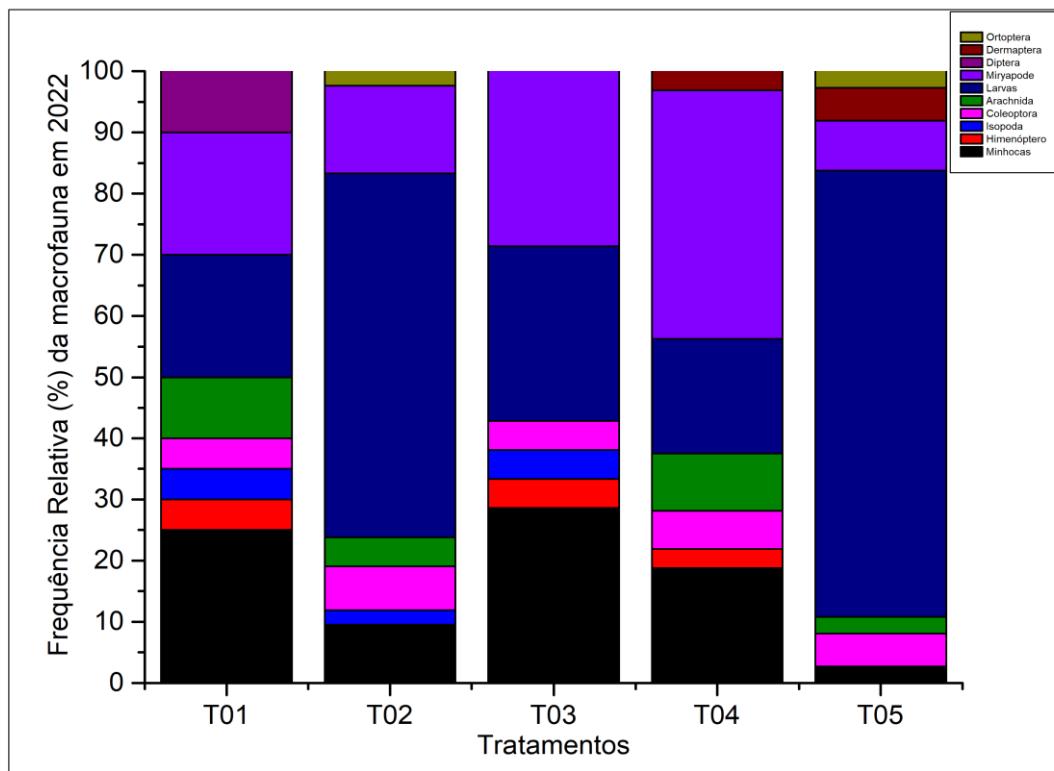
Figura 8: Macro porosidade e Porosidade total ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) nos anos 2022 e 2023 sob plantio direto em Capão do Leão- RS



Letras maiúsculas na coluna demostram significância ao teste T pareado ($p<0,10$). NS: não significativo. Fonte: Autora

Na avaliação da macrofauna no primeiro ano de plantio direto, os tratamentos T02 (azevém/soja), T03 (azevém/soja) e T05 (azevém/soja) apresentaram frequências relativas de larvas de insetos de 59,52%, 28,57% e 72,97%, respectivamente (Figura 9). Esses valores podem estar relacionados a pragas associadas à cultura da soja. Outro aspecto interessante é a presença de miriápodes e minhocas nos tratamentos T04 (nabo + azevém/soja) e T03 (azevém/soja), com frequências relativas de 40,62% e 28,57% para miriápodes e 18,75% e 28,57% para minhocas. Esses organismos são detritívoros e decompositores abundantes e importantes nos ecossistemas tropicais, alimentando-se de detritos orgânicos acumulados, fragmentando a serrapilheira e contribuindo para o aporte de matéria orgânica no solo. As minhocas desempenham um papel crucial na ciclagem de nutrientes, especialmente na camada superficial do solo, promovendo a fertilidade do sistema em fase inicial (BARTZ *et al.*, 2013; FAO, 2020).

Figura 9: Frequência relativa dos organismos da macrofauna do solo sob Plantio Direto, no ano de 2022, em Capão do Leão-RS



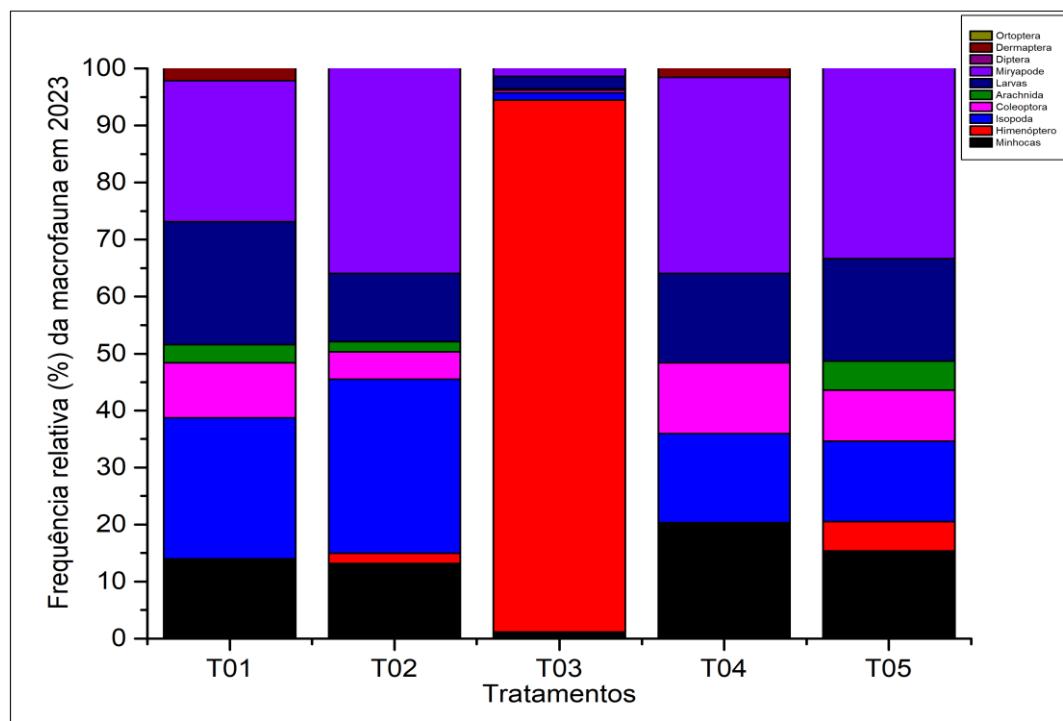
Fonte: Autora

Em 2023, o T03 (azevém/soja azevém/milho) foi observada a predominância de himenópteros com 93,31% com destaque para as formigas (Formicidae) (Figura 10), que foram avistadas em grande número em uma única repetição. Vale ressaltar que, nesse tratamento, a coleta foi realizada sob a resteva de milho. Portanto, tanto a palhada quanto as raízes desta gramínea podem ter contribuído para a atividade intensa das formigas. Estas espécies são mais abundantes em solos onde há recursos disponíveis, e a presença de uma maior quantidade de raízes no solo possibilita que esses organismos explorem um volume mais extenso de solo para estabelecer seu habitat (LAVELLE, 2016; BATISTA *et al.*, 2023).

Os tratamentos T02, T04 e T05 foram destaque na frequência relativa de diversos macroorganismos em: as miríapodes (com 35,92%, 34,37% e 33,33%), isópodes (com 30,53%, 15,62% e 14,10%) e as minhocas (com 13,17%, 20,31% e 15,38%), respectivamente (Figura 10). A variação dos tipos radiculares entre gramíneas e leguminosas em rotação provavelmente proporcionou resíduos orgânicos para a cobertura do solo, com uma boa relação C/N, criando assim

condições mais adequadas para o habitat e alimentação das miriápodes, isópodes e minhocas nestes tratamentos em 2023.

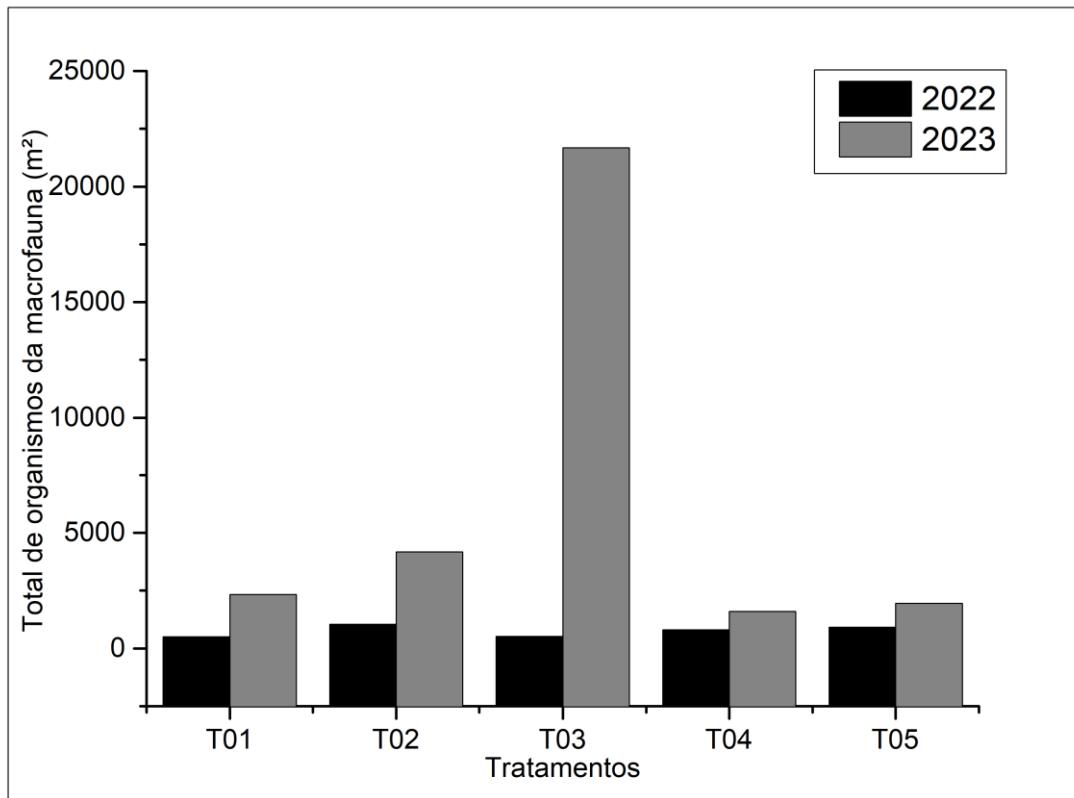
Figura 10: Frequência relativa dos organismos da macrofauna do solo sob plantio direto, no ano de 2023, em Capão do Leão-RS



Fonte: Autora

As diferentes culturas em rotação no plantio direto influenciaram diretamente a comunidade da macrofauna, sendo significativos: no T02 passou de 2875 em 2022 para 4225 ind./m² em 2023; T03 de 1400 em 2022 para 21800 ind./m² em 2023, porém apresentou muitas formigas dificultando a interpretação da amostra; e o T05 de 1550 em 2022 para 3200 ind./m² em 2023 (Figura 11).

Figura 11: Total de indivíduos (m^2) da macrofauna nos anos 2022 e 2023, em Capão do Leão-RS



Fonte: Autora

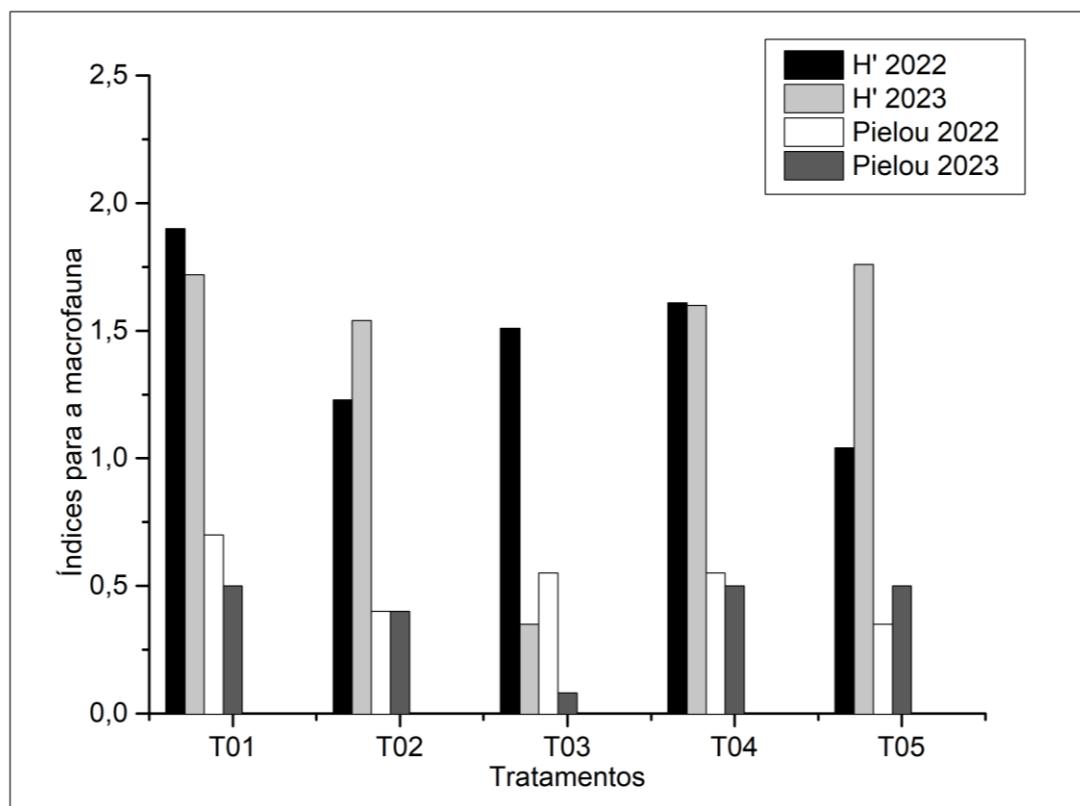
Quanto à diversidade de táxons na amostra, medida pelo índice de Shannon (H') em uma escala de 0 a 5, onde valores próximos de 0 indicam baixa diversidade e valores próximos de 5 indicam alta diversidade, os tratamentos mais diversos em 2023, em comparação com 2022, foram o T02 ($H'=1,54$) e o T05 ($H'=1,76$) (Figura 12). O T05 apresentou incrementos significativos no índice de Equitabilidade de Pielou (e), passando de $e=0,35$ em 2022 para $e=0,5$ em 2023, o que demonstra uma distribuição mais uniforme das espécies dentro da amostra. Por outro lado, o T03 apresentou uma redução no índice de Pielou, de $e=0,55$ em 2022 para $e=0,081$ em 2023, confirmando a dominância das formigas na amostra em 2023 (Figura 12). Este índice é avaliado em uma escala de 0 a 1, em que valores próximos de 1 indicam uma distribuição mais uniforme de espécies dentro da amostra, enquanto valores próximos de 0 indicam uma distribuição menos uniforme.

Na análise dos índices de diversidade de Shannon (H') e Pielou (e) para a macrofauna, o T05 demonstra que o manejo de gramíneas e leguminosas em rotação beneficia a diversidade de macroinvertebrados em dois anos de plantio

direto. Estas culturas oferecem uma variedade de habitats devido aos diferentes tipos de raízes, além de fornecerem alimento para os diversos táxons presentes (BATISTA *et al.*, 2023).

A presença da macrofauna no solo em plantio direto também estimula a decomposição da serapilheira, auxiliando na fertilização do ecossistema. Esses organismos têm a capacidade de consumir matéria orgânica em decomposição e depositar resíduos orgânicos no solo, o que pode ser vantajoso para o ambiente (VELÁSQUEZ; LAVELLE, 2019; FAO, 2020). Analisar as contribuições dos táxons com base na riqueza dos serviços fornecidos, utilizando os índices de Shannon e Equitabilidade de Pielou, pode esclarecer a dinâmica da macrofauna do solo em cultivos agrícolas de grandes culturas sob plantio direto.

Figura 12: Índice de diversidade de Shannon (H') e índice de Equitabilidade Pielou (e) da Macrofauna do solo sob Plantio Direto em Capão do Leão-RS

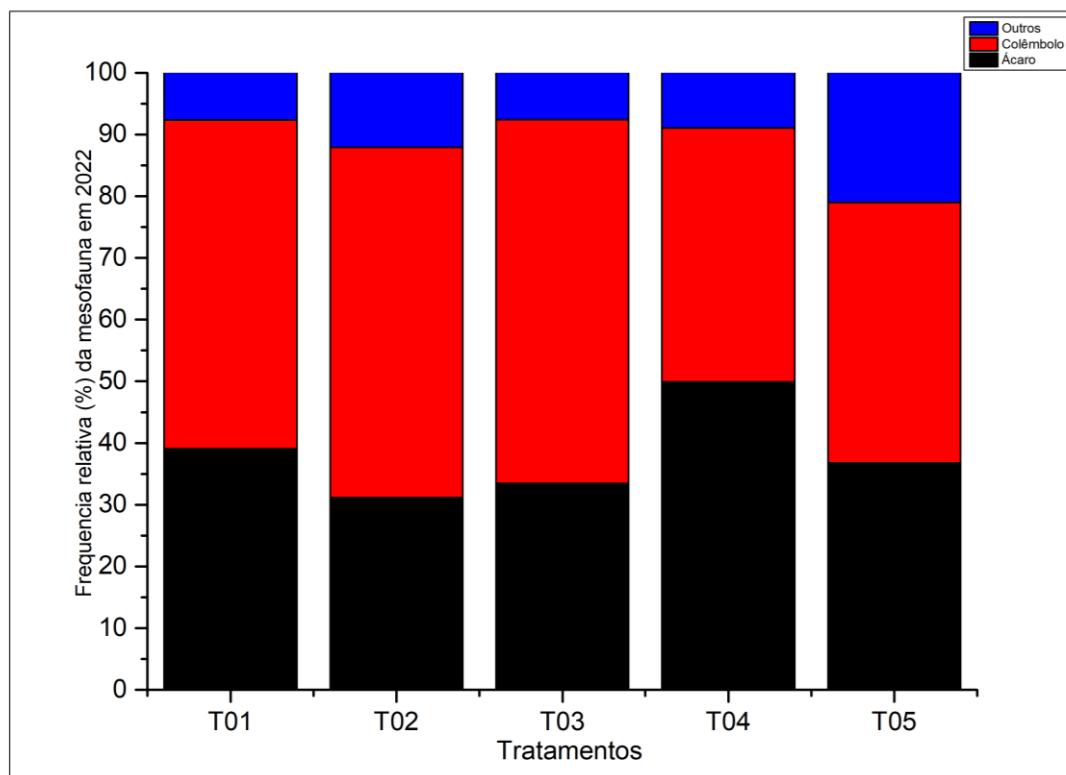


Fonte: Autora

Em relação a mesofauna, em 2022 os colêmbolos apresentaram a seguinte frequência relativa: nos T02: 56,8%, T03: 58,9% e T05: 42,2%, enquanto os Ácaros apresentaram frequência relativa: nos T04: 49,9% e T05: 36,8% (Figura 13). Os

Colembolos, que têm preferência por matéria orgânica fresca e ambientes úmidos, possivelmente se beneficiaram de melhores condições de umidade do solo em 2022.

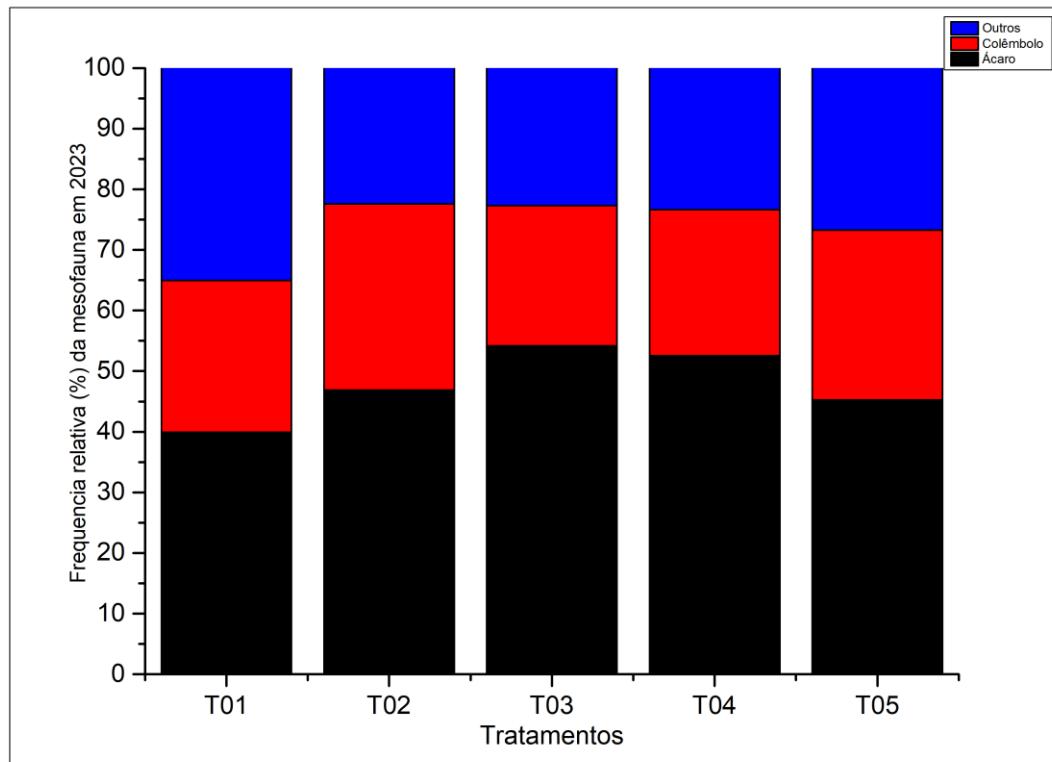
Figura 13: Frequência relativa dos organismos da mesofauna na Serrapilheira-solo sob Plantio Direto, no ano de 2022, no Capão do Leão-RS



Fonte: Autora

Já em 2023, a população de Ácaros prevaleceu em todos os tratamentos, com uma frequência relativa no T02: 46,9% T03: 54,2%, T04: 52,6%, e T05: 45,25% (Figura 14). De acordo com Zagatto *et al.* (2019), os Colembolos são mais sensíveis à baixa umidade e altas temperaturas e podem ter sido prejudicados em 2023. Enquanto os ácaros são mais comuns em sistemas agrícolas, especialmente em áreas sob plantio direto. Ambos desempenham um papel essencial na fragmentação e decomposição de resíduos vegetais, além de contribuírem ativamente para a ciclagem de nutrientes ao excretarem pellets fecais que, ao se misturarem com o solo, são colonizados por microrganismos (ZAGATTO *et al.*, 2019; MOREIRA *et al.*, 2008).

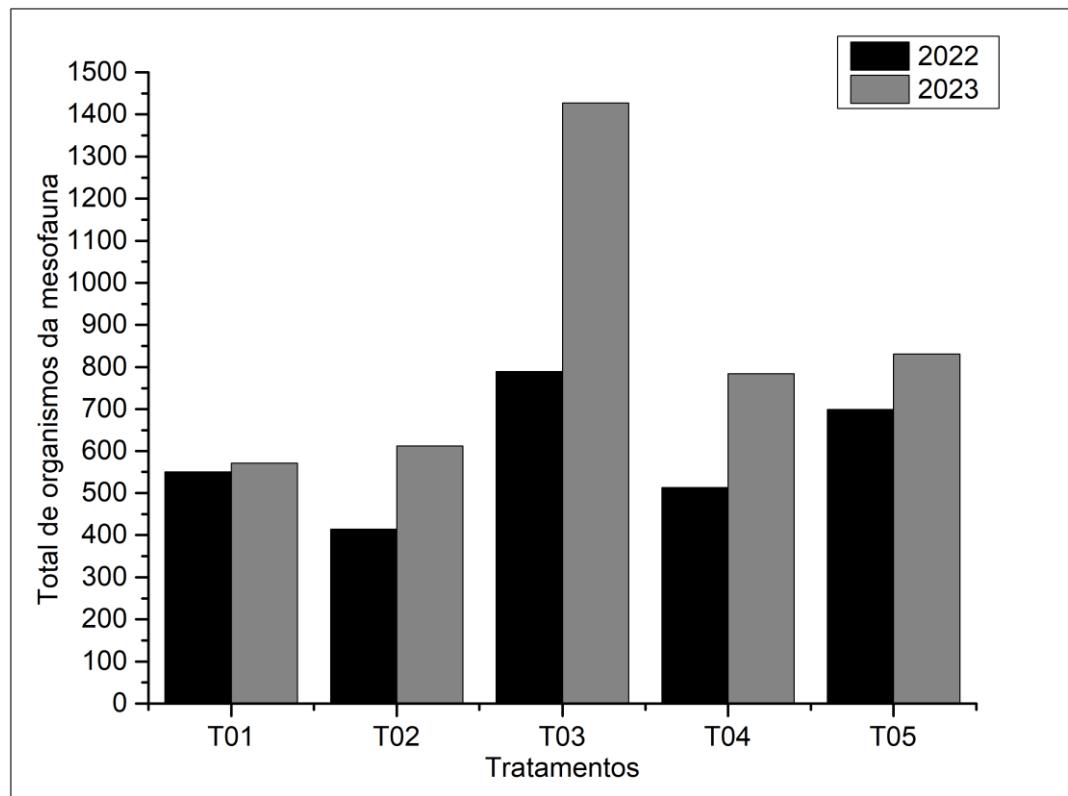
Figura 14: Frequência relativa dos organismos da mesofauna na Serrapilheira-solo sob Sistema de Plantio Direto, no ano de 2023, em Capão do Leão-RS



Fonte: Autora

Na mesofauna, a maior densidade de indivíduos foi observada nos tratamentos T03, com um aumento de 789 em 2022 para 1427 ind. em 2023; T04 de 513 em 2022 para 784 ind. em 2024; e T05 de 699 em 2022 para 831 ind. em 2023 indivíduos (Figura 15).

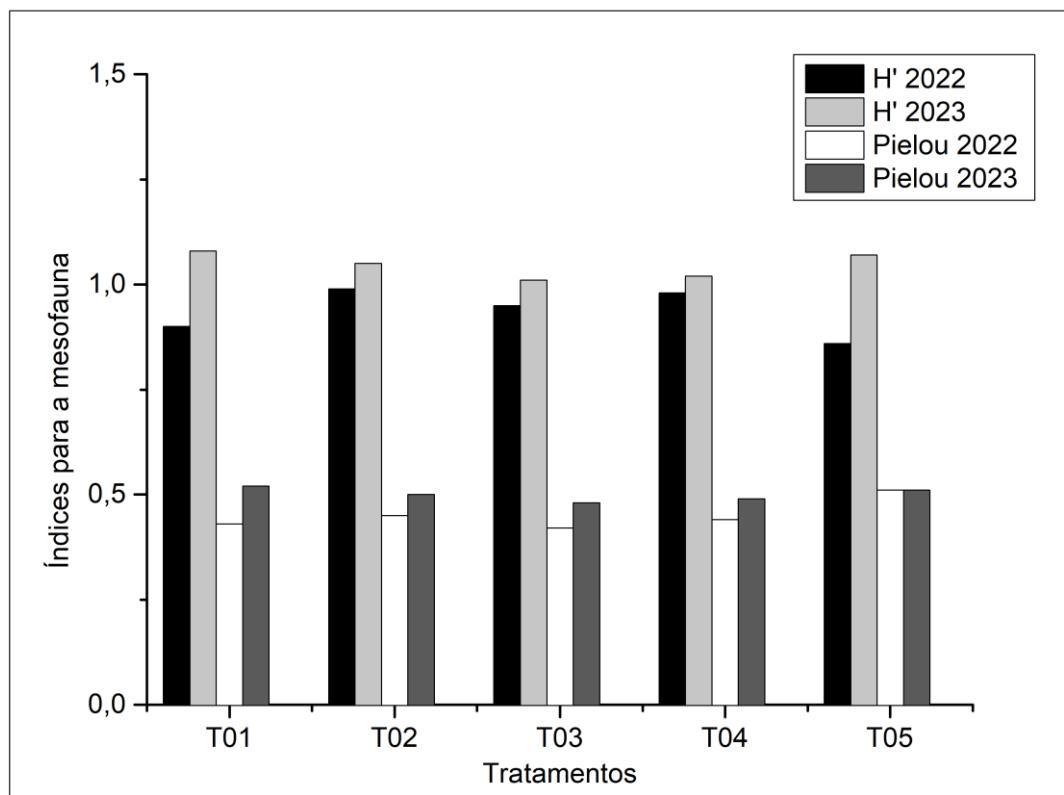
Figura 15: Total de organismo da mesofauna do solo sob plantio direto, nos anos 2022 e 2023, em Capão do Leão-RS



Fonte: Autora

Quanto à riqueza de táxons em atividade e à distribuição de indivíduos por quantidade de táxons na mesofauna, todos os tratamentos apresentaram crescimento em 2023. No entanto, vale ressaltar que, após dois anos de estabelecimento, o plantio direto resultou em uma maior densidade de organismos e maiores aumentos nos índices (H') e (e) nos tratamentos T03 (sucessão) T04 e T05 (rotação), evidenciando a influência do manejo das culturas na atividade da mesofauna (Figura 16).

Figura 16: Índice de diversidade de Shannon (H') e índice de Equitabilidade Pielou (e) da Mesofauna do solo sob Plantio Direto em Capão do Leão-RS



Fonte: Autora

Em 2023 já podemos observar correlações significativas entre os atributos biológicos, físicos e o teor de carbono orgânico total (Tabela 5), indicando o impacto positivo, a curto prazo, do manejo adotado, especialmente no manejo com rotação de culturas na macro e mesofauna edáfica. Essas correlações ajudam a entender as interações entre os organismos edáficos e as das condições físicas e química do solo.

Tabela 5: Correlações entre os atributos da macrofauna (minhocas e outros Macro), Mesofauna (Ácaros, Colembolos e outros Meso), aspectos físicos (Densidade - Ds, Porosidade total - Pt e Macroporosidade - Ma) e Carbono Orgânico Total (COT), após dois anos de implantação de Plantio Direto (ano 2023)

	Colembolos	Outros Meso	Minhocas	Outros Macro	Ds	Pt	Ma	COT
Ácaros	0.23	0.51**	0.02	0.43**	-0.22	0.32**	0.46**	0.29*
Colembolos		0.02	-0.17	-0.12	-0.06	-0.05	0.07	-0.25
Outros Meso			0.27*	0.09	-0.34**	0.58**	0.58**	0.42**
Minhocas				0.01	-0.20	0.35**	0.38**	0.49**
Enquitreideos					-0.09	0.07	-0.15	-0.22
Outros Macro						0.12	-0.08	0.01
Ds							-0.79**	-0.76**
Pt								0.77**
Ma								0.37**

Correlação de Pearson (* $p<0,10$; ** $p<0,05$). Fonte: Autora

Os ácaros apresentaram forte correlação positiva com "Outros Meso" (0.51**), "Pt" (0.32**), "Ma" (0.46**) e "COT" (0.29*) (Tabela 5). Juntamente com outros organismos da mesofauna e as minhocas, os ácaros se beneficiam de uma boa estrutura porosa, pois essas condições são favoráveis ao seu habitat, uma vez que esses organismos não são capazes de criar suas próprias galerias e são afetados pela compactação do solo (ZAGATTO *et al.*, 2019). Eles se beneficiam dos espaços porosos promovidos pela ação das raízes e pela atividade de outros macroinvertebrados.

As minhocas apresentaram forte correlação positiva com "Pt" (0.35**), "Ma" (0.38**) e "COT" (0.49**) (Tabela 5). Conhecidas por seu papel na formação de bioporos, as minhocas são consideradas engenheiras dos ecossistemas devido à sua influência na estrutura do solo (VELÁSQUEZ; LAVELLE, 2019). Esses organismos também mostraram correlação positiva com os teores de COT, destacando seu papel na decomposição de resíduos vegetais e na formação de matéria orgânica estável. Como detritívoros, contribuem para a incorporação de matéria orgânica no solo (FAO, 2020; ZAGATTO *et al.*, 2019; VELÁSQUEZ; LAVELLE, 2019).

O aumento do COT esteve relacionado à diminuição da densidade do solo (Ds) e ao aumento da porosidade total (Pt) e da macroporosidade (Ma). Isso destaca a importância das interações entre organismos e COT, resultando na melhoria da estrutura física dos solos sob plantio direto. A porosidade total (Pt) e a macroporosidade (Ma) apresentam fortes correlações positivas com a maioria dos grupos de macrofauna e mesofauna, indicando que solos mais porosos favorecem a presença e a atividade desses organismos. Em contrapartida, a densidade do solo (Ds) tem fortes correlações negativas com Pt e Ma, sugerindo que solos mais compactos são menos favoráveis para a macrofauna. O carbono orgânico total (COT) também possui correlações positivas com muitos dos grupos, evidenciando a importância da matéria orgânica para a saúde e atividade da macrofauna.

Considerações finais

Após dois anos de implementação do plantio direto, ficou evidente que este manejo oferece benefícios substanciais para a saúde do solo. Os tratamentos com rotação de culturas (T04 e T05) demonstraram ser especialmente eficazes na promoção da abundância e diversidade de organismos da macrofauna do solo, enquanto a sucessão de culturas (T03) e a rotação (T04 e T05) se destacaram na mesofauna.

Observamos melhorias significativas na estrutura física do solo nos tratamentos com sucessão (T03) e rotação (T04 e T05), com aumento na macroporosidade e porosidade total, além de redução na densidade do solo nos tratamentos com rotação (T04 e T05). Essas melhorias na biologia e física do solo também se traduziram em aumentos nos teores de matéria orgânica, especialmente nos tratamentos com sucessão (T02) e rotação (T04 e T05).

Nesse sentido, os resultados obtidos concordam em parte com a hipótese inicial de que a rotação de culturas promove maior abundância e diversidade dos organismos da macro e mesofauna em um Argissolo sob plantio direto, nos primeiros dois anos de estabelecimento, em relação à sucessão de culturas, com consequências diretas na melhoria dos teores de matéria orgânica e na condição física do solo.

Esses resultados reforçam a importância da adoção de práticas de manejo que promovam a diversidade de culturas, como a rotação, para a melhoria da qualidade do solo e sustentabilidade dos sistemas agrícolas em plantio direto. Estudos futuros em médio e longo prazo são necessários para avaliar a persistência desses efeitos benéficos e seu impacto no rendimento das culturas.

Referências Bibliográficas

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONCALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. **Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil**. Meteorologische Zeitschrift, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 5 nov. 2023.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods**. 2^a ed. Wallingford: CAB International, 1993. 221 p.
- BARTZ, M. L. C.; PASINI, A.; BROWN, G. G. **Earthworms as soil quality indicators in Brazilian no-tillage systems**. Applied Soil Ecology, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.01.011>. Acesso em: 9 dez. 2023.
- BATISTA, I.; MACHADO, D. L.; CORREIA, M. E. F.; SPINELLI, M. H. M.; CORÁ, J. E. **Soil Macrofauna correlations with soil chemical and physical properties and crop sequences under no-tillage**. Rev. Bras. Ciênc. Solo, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20230006>. Acesso em: 7 dez. 2023.
- BLANCO-CANQUI, H.; RUIS, S. J. **No-tillage and soil physical environment**. Geoderma, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.011>. Acesso em: 5 dez. 2023.
- COSTANTINI, E. A. C.; MOCALI, S. **Soil health, soil genetic horizons and biodiversity**. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jpln.202100437>. Acesso em: 10 dez. 2023.
- CQFS, Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2016.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. **State of knowledge of soil biodiversity: Status, challenges, and potentialities**. Rome, IT: FAO, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cb1928en>. Acesso em: 18 jan. 2024.
- FUENTES-LLANILLO, R.; TELLES, T. S.; JUNIOR, D. S.; MELO, T. R.; KASSAM, T. F. **Expansion of no-tillage practice in conservation agriculture in Brazil**. Soil and Tillage Research, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104877>. Acesso em: 18 fev. 2024.
- GARAY, I. **Relations entre l'hétérogénéité des litières et l'organisation des peuplements d'arthropodes édaphiques**. Paris: École Normale Supérieure, 1989. 192 p. (publication du Laboratoire de Zoologie, n. 35).
- GARBELINI, L. G.; ALVADI, H. D.; JUNIOR, A. B.; FRANCHINI, J. C.; COELHO, A. E.; TELLES, T. S. **Diversified crop rotations increase the yield and economic efficiency of grain production systems**. European Journal of Agronomy, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126528>. Acesso em: 14 fev. 2024.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Número de estabelecimentos agropecuários que realizaram alguma prática de manejo do solo.** Censo agropecuário, 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1859>. Acesso em: 14 fev. 2024.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Índice pluviométrico em Capão do Leão-RS, 2024.** Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 12 fev. 2024.

IUSS, Working Group WRB. **World reference base for soil resources: International Soil Classification System or Naming Soils Creating Legends for Soils Maps.** Rome: FAO, 2014.

JANZEN, H. H.; JANZEN, D. W.; GREGORICH, E. G. **The ‘soil health’ metaphor: Illuminating or illusory?.** Soil Biology and Biochemistry, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108167>. Acesso em: 12 nov. 2023.

KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; DERPSCH, R. **Successful Experiences and Lessons from Conservation Agriculture Worldwide.** Agronomy, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy12040769>. Acesso em: 18 fev. 2024.

LABELLE, P. *et al.* **Ecosystem Engineers in a Self-organized Soil: A Review of Concepts and Future Research Questions.** Soil Science, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/SS.0000000000000155>. Acesso em: 12 nov. 2023.

LABELLE, P. *et al.* **Soil macroinvertebrate communities: A world-wide assessment.** Global Ecology and Biogeography, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/geb.13492>. Acesso em: 10 nov. 2023.

LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; ARAUJO, A. S. F. (editores). **Agricultura conservacionista no Brasil.** Brasília, DF: Embrapa, 2014.

LI, Z. *et al.* **Rapid diagnosis of agricultural soil health: A novel soil health index based on natural soil productivity and human management.** Journal of Environmental Management, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111402>. Acesso em: 10 out. 2023.

MAGURRAN, A. E. **Ecological diversity and its measurement.** Princeton: Princeton University Press, 1988. Disponível em: ISBN 0-691-08491-2.

MAREK, P. E.; SHEAR, W. A. **Myriapods.** Current Biology, 2022. Disponível em: [https://www.cell.com/current-biology/pdf/S0960-9822\(22\)01558-5.pdf](https://www.cell.com/current-biology/pdf/S0960-9822(22)01558-5.pdf). Acesso em: 10 jan. 2024.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSARD, L. (editores). **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros.** Lavras, MG: UFLA, 2008.

MOTTER, P.; ALMEIDA, H. G. **Plantio Direto: A tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira.** Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, 2015. Disponível em: <https://plantiodireto.org.br/publicacoes-em-pd>. Acesso em: 10 fev. 2024.

PEDRON, F. A.; DALMOLIN, R. S. D. (editores). **Solos arenosos do Bioma Pampa brasileiro**. Santa Maria, RS: UFSM, 2019.

SANTOS *et al.* (editores). **Fundamentos da Matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2^a ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008.

SANTOS *et al.* (editores). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5^a ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA, V. R. *et al.* **Soil physical attributes in long-term soil management systems (tillage and no-till)**. Journal of Agricultural Science, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5539/jas.v12n4p194>. Acesso em: 10 nov. 2023.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* (editores). **Manual de Análises do Solo**. 3^a ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

TELLES, T. S. *et al.* **Conservation agriculture practices adopted in southern Brazil**. International Journal of Agricultural Sustainability, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14735903.2019.1655863>. Acesso em: 14 fev. 2024.

VELASQUEZ, E.; LAVELLE, P. **Soil macrofauna as an indicator for evaluating soil-based ecosystem services in agricultural landscapes**. Acta Oecologica, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2019.103446>. Acesso em: 10 nov. 2024.

WULANNINGTYAS, H. S. *et al.* **A cover crop and no-tillage system for enhancing soil health by increasing soil organic matter in soybean cultivation**. Soil & Tillage Research, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104749>. Acesso em: 2 fev. 2024.

ZAGATTO, M. R. G. *et al.* **Soil mesofauna in consolidated land use systems: how management affects soil and litter invertebrates**. Ciência Agrícola, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2017-0139>. Acesso em: 8 fev. 2024.