



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DOUTORADO EM AGRONOMIA**

**GABRIELA LOZANO OLIVÉRIO SALVADOR**

**ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE SOLO EM SISTEMA DE  
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NA PRODUÇÃO DE SOJA COM  
INCIDÊNCIA DE NEMATOIDES**

Presidente Prudente - SP  
2024



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DOUTORADO EM AGRONOMIA**

**GABRIELA LOZANO OLIVÉRIO SALVADOR**

**ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE SOLO EM SISTEMA DE  
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NA PRODUÇÃO DE SOJA COM  
INCIDÊNCIA DE NEMATOIDES**

Tese apresentada à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade do Oeste Paulista como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora – Área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador:  
Dr. Fabio Fernando de Araújo

Presidente Prudente - SP  
2024

631.4  
S182a

Salvador, Gabriela Lozano Olivério.

Atributos físicos, químicos e biológicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária na produção de soja com incidência de nematoides / Gabriela Lozano Olivério Salvador. –Presidente Prudente, 2024. 95 f.: il.

Tese (Doutorado em Agronomia) -  
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2024.

Bibliografia.

Orientador: Dr. Fabio Fernando de Araújo

1. Qualidade do solo. 2. Sistemas conservacionistas. 3. Propriedades edáficas. 4. Fitonematoides. 5. fauna edáfica. I. Título.

## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: “ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NA PRODUÇÃO DE SOJA COM INCIDÊNCIA DE NEMATÓIDES”**

**AUTOR(A): GABRIELA LOZANO OLIVÉRIO SALVADOR**

**ORIENTADOR(A): Prof. Dr. FABIO FERNANDO DE ARAÚJO**

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do título de DOUTOR(A) em AGRONOMIA

Área de Concentração PRODUÇÃO VEGETAL, pela Comissão Examinadora:

**Prof. Dr. FABIO FERNANDO DE ARAÚJO**

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

**Profa. Dra. RITA DE CÁSSIA LIMA MAZZUCHELLI**

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

**Prof. Dr. TIAGO ARANDA CATUCHI**

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

**Prof. Dr. PAULO RENATO MATOS LOPES**

UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” / Dracena (SP)

**Dra. VALÉRIA DE OLIVEIRA FALEIRO**

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária / Sinop (MT)

Data da realização: Presidente Prudente, 10 de Maio de 2024.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por sua infinita bondade. Por ter me proporcionado essa experiência maravilhosa do doutorado e por ter me dado saúde e proteção, assim como faz em todos os dias da minha vida.

Esposo Marcelo e meu filho Félix, que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e confiando no meu propósito. Por ter me oferecido toda apoio e ter sido meu companheiro e incentivador, muito obrigada, amores da minha vida.

Agradeço a deus pela minha família, todo o apoio e ajuda durante todo esse período, ao meu pai Jundival, mãe Marilza, aos meus irmãos Thais e Pedro Henrique, aos meus cunhados Diogo e Stephani, aos meus sogros Sérgio e Marilza, sem vocês não teria conseguido encarar tão bem essa fase da minha vida pessoal e profissional.

À todas as pessoas maravilhosas que eu tive a oportunidade de conhecer e conviver da UNOESTE – Presidente Prudente. Em especial do curso de Pós-Graduação em Agronomia, aos colegas do NEAB.

Ao professor orientador, Dr. Fábio Fernando de Araújo, foi uma grande oportunidade em minha vida ter sido sua orientada. Desde o primeiro encontro, me ajudou e se mostrou ser uma pessoa muito atenciosa, que ensina, incentiva, tem paciência, agradeço por toda confiança depositada em mim. De todo meu coração, muitíssimo obrigado.

A professora co-orientadora, Dra. Cláudia Regina Dias-Arieira e todos os colegas da Universidade Estadual de Maringá - Umuarama, por toda a troca de conhecimento e experiências, apoio nas análises de nematoides, sempre muito acessível com empenho em me fazer crescer profissionalmente e pessoalmente. De todo meu coração, muitíssimo obrigado.

A todos os professores da Universidade do Oeste Paulista – Presidente Prudente, por todo acolhimento e conhecimento, com os quais de alguma forma eu tive a oportunidade de conviver e aprender.

Aos técnicos de laboratório e técnicos administrativos, sempre dispostos ao auxílio para que o trabalho/pesquisa se desenvolva da melhor forma possível.

Aos alunos/pesquisadores da Universidade do Oeste Paulista – Presidente Prudente e da Universidade Estadual Paulista – Dracena, por tanto me ajudarem no decorrer desta caminhada, em todas as coletas de campo e avaliações laboratoriais, assim como o Grupo Facholi, por todo suporte e assistência em campo, para o melhor desenvolvimento da pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo financiamento da pesquisa, bolsa de estudo de Doutorado processo 140653/2020-1.

*Isto é uma ordem: sê firme e corajoso. Não te atemorizes, não tenhais medo, porque o Senhor está contigo em qualquer parte por onde fores.*

*Js 1:9*

*Se não puder voar, corra. Se não puder correr, ande. Se não puder andar, rasteje, mas continue em frente de qualquer jeito.*

*Martin Luther King, Jr.*

## RESUMO

### **Atributos físicos, químicos e biológicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária na produção de soja com incidência de nematoides**

A demanda por alimento e a expansão demográfica, impulsiona práticas de manejo intensiva das áreas agrícolas, que muitas vezes proporciona impactos negativos para os recursos naturais, comprometendo as condições edáficas. Os sistemas de integração lavoura-pecuária são alternativas para o manejo conservacionista do solo, sustentada pela diversificação de culturas com o potencial de promover maior qualidade sustentável ao sistema. O objetivo do trabalho foi avaliar de forma integrada os atributos químicos, físicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária, além do efeito no controle da comunidade de *Pratylenchus* spp. e *Helicotylenchus* spp. na soja, avaliação de nematoides não fitoparasitas e da macrofauna edáfica em solos arenosos. O experimento foi conduzido durante três anos no município de Caiuá/SP, em blocos ao acaso com três repetições dos tratamentos: Pousio CV: soja (com revolvimento do solo); Pousio PD: soja (sem revolvimento do solo); Ruziziensis: soja - *Urochloa ruziziensis*; Brizantha: soja – *Urochloa brizantha*. Os sistemas de integração com maior acúmulo de resíduos, apresentaram um melhor desempenho para os atributos avaliados, bem como para favorecer as funções biológicas dos nematoides não fitoparasitas com maior presença nesses sistemas. O gênero *Pratylenchus* spp, no sistema integrado teve maior quantidade na raiz da soja e ao mesmo tempo maior produtividade, isso demonstra a efetividade que o sistema de manejo pode agregar ao solo e que o efeito deletério do fitonematoides foi inferior aos benefícios proporcionados pela integração, além de promover maior quantidade e diversidade da macrofauna edáfica.

**Palavras-chave:** Qualidade do solo; sistemas conservacionistas; propriedades edáficas; fitonematoides; nematoides não fitoparasitas; fauna edáfica.



## ABSTRACT

### **Physical, chemical and biological attributes of soil in a crop-livestock integration system in soybean production with nematoid incidence**

The demand for food and demographic expansion drive intensive management practices in agricultural areas, which often have negative impacts on natural resources, compromising soil conditions. Crop-livestock integration systems are alternatives for soil conservation management, supported by crop diversification with the potential to promote greater sustainable quality to the system. The objective of the work was to evaluate in an integrated way the chemical, physical and biological attributes of the soil in integrated crop-livestock systems, in addition to the effect on the control of the *Pratylenchus* spp community, and *Helicotylenchus* spp. in soybeans, evaluation of non-phytoparasitic nematodes and soil macrofauna in sandy soils. The experiment was conducted for three years in the municipality of Caiuá/SP, in randomized blocks with three replications of treatments: Fallow CV: soybean (with soil disturbance); Fallow PD: soybeans (without soil disturbance); Ruziziensis: soybean - *Urochloa ruziziensis*; Brizantha: soybean — *Urochloa brizantha*. Integration systems with greater residue accumulation showed better performance for the evaluated attributes, as well as favoring the biological functions of non-phytoparasitic nematodes with a greater presence in these systems. The genus *Pratylenchus* spp, in the integrated system, had a greater quantity in the soybean root and at the same time greater productivity, this demonstrates the effectiveness that the management system can add to the soil and that the deleterious effect of phytonematodes was inferior to the benefits provided by integration, in addition to promoting greater quantity and diversity of soil macrofauna.

**Keywords:** Soil quality; conservation systems; soil properties; phytonematodes; non-phytoparasitic nematodes; soil fauna.

## LISTA DE SIGLAS

ARIL	- Enzima arilsulfatase
Ca	- Cálcio Mg – Magnésio
CBM	- Carbono da biomassa microbiana
CTC	- Capacidade de troca catiônica
DHA	- Enzima desidrogenase
FDA	- Enzima hidrólise de diacetato
GLICO	- Enzima glicosidase
H + Al	- Acidez potencial
K	- Potássio
MOS	- Matéria orgânica do solo
NBM	- Nitrogênio da biomassa microbiana
P	- Fósforo
pH	- Potencial hidrogeniônico
PHOS	- Enzima fosfatase ácida
qCO <sub>2</sub>	- Quociente metabólico
qMIC	- Quociente microbiano
RBS	- Respiração basal do solo
SB	- Soma de bases
V	- Porcentagem de saturação por bases
VL	- Vida livre

## LISTA DE FIGURAS ARTIGO I

Figura 1 -	Condições climáticas registradas na condução do experimento, Caiuá – SP.....	39
Figura 2 -	Representação do croqui da área de estudo, Caiuá – SP.....	40
Figura 3 -	Atributos microbianos do solo (0 – 0,10m), Caiuá – SP.....	45
Figura 4 -	Atributos enzimáticos do solo (0 – 0,10m)), Caiuá – SP.....	46
Figura 5 -	Efeito dos diferentes tratamentos conduzidos sobre a atividade microbiana no solo antes e depois do cultivo da soja. Média de três anos. Caiuá-SP.....	45
Figura 6 -	Efeito dos diferentes tratamentos conduzidos sobre a atividade enzimática no solo antes e depois do cultivo da soja. Média de três anos. Caiuá-SP.....	50
Figura 7 -	Nematoides no solo antes do plantio da soja, nos respectivos anos de avaliação (0 – 0,20m), Caiuá – SP.....	52
Figura 8 -	Nematoides na raiz da soja, nos respectivos anos de avaliação, Caiuá – SP.....	53
Figura 9 -	Nematoides no solo durante o cultivo da soja, nos respectivos anos de avaliação (0 – 0,20m), Caiuá – SP.....	54
Figura 10 -	Atributos físicos do solo, nos respectivos anos de avaliação (0 – 0,20m), Caiuá – SP.....	59
Figura 11 -	Atributos físicos do solo, nos respectivos anos de avaliação (0 – 0,20m), Caiuá – SP.....	60
Figura 12 -	Produtividade da soja, nos respectivos anos de avaliação, Caiuá – SP.....	61
Figura 13 -	Análise de componentes principais (biplot) das variáveis utilizados no estudo em cada tratamento conduzido.....	63

## LISTA DE FIGURAS ARTIGO II

Figura 1 -	Condições climáticas registradas na condução do experimento, Caiuá –SP.....	78
Figura 2 -	Representação do croqui da área de estudo, Caiuá – SP.....	79
Figura 3 -	Frequência relativa da macrofauna edáfica, nos respectivos anos de avaliação (0,00 — 0,10m), Caiuá — SP.....	83
Figura 4 -	Parâmetros de número de indivíduos e riqueza de grupos taxonômicos do solo, nos respectivos anos de avaliação (0 — 0,10m), Caiuá — SP.....	84
Figura 5 -	Parâmetros de diversidade e equitabilidade da macrofauna do solo, nos respectivos anos de avaliação (0 — 0,10m), Caiuá — SP.....	85
Figura 6 -	Efeito dos tratamentos conduzidos sobre o número de indivíduos (A) e diversidade (B) da macrofauna antes e depois do cultivo da soja	86
Figura 7 -	Matéria orgânica do solo, nos respectivos anos de avaliação (0 — 0,10m), Caiuá — SP.....	87
Figura 8 -	Produtividade média da soja de três anos (2021-2023), Caiuá — SP.....	88

## LISTA DE TABELAS ARTIGO I

Tabela 1 -	Valores médios nos atributos microbianos do solo, no período de 2020a 2023, antes e depois do cultivo da soja em diferentes sistemas de produção (0 — 0,10m).....	47
Tabela 2 -	Valores médios nos atributos enzimáticos do solo, no período de 2020 a 2023, antes e depois do cultivo da soja em diferentes sistemas de produção (0 — 0,10m).....	47
Tabela 3 -	Análise de variância com valores médios obtidos pelo teste F dos atributos químicos do solo para avaliação da fertilidade do solo (0,00 – 0,20m), Caiuá — SP.....	56
Tabela 4 -	Valores significativos dos atributos químicos do solo para avaliação da fertilidade do solo (0 — 0,20m) em 2020 e 2021, Caiuá — SP.....	57
Tabela 5 -	Valores significativos dos atributos químicos do solo para avaliação da fertilidade do solo (0 — 0,20m) em 2022 e 2023, Caiuá — SP.....	57

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>14</b>
<b>2 HIPÓTESES E OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1 Importância do cultivo da soja .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2 Sistemas de manejo conservacionista do solo .....</b>	<b>17</b>
<b>3.3 Sistemas de integração lavoura-pecuária.....</b>	<b>18</b>
<b>3.4 Nematoides na cultura da soja e como indicadores de qualidade do solo..</b>	<b>20</b>
<b>3.5 Atributos microbianos do solo .....</b>	<b>23</b>
<b>3.6 Atributos físicos, químicos do solo e a importância da macrofauna em sistemas agrícolas .....</b>	<b>25</b>
<b>3.7 Relação das propriedades do solo com o controle de nematoides e com o rendimento da soja .....</b>	<b>26</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>28</b>
<b>APÊNDICE I - ARTIGO I.....</b>	<b>33</b>
<b>APÊNDICE II - ARTIGO II.....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>95</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A crescente demanda por áreas agrícolas, para atender as necessidades de produção, principalmente em solos arenosos, muitas vezes é acompanhada por práticas de manejo inadequadas, como o monocultivo sem a utilização de métodos conservacionistas, com o intuito de produção em larga escala com retorno imediato. Essas práticas não conservacionista, promovem alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, que de maneira geral, comprometem o sistema solo e também sua potencialidade de retorno produtivo.

Sistemas de produção que utilizam premissas de conservação, estão sendo utilizados com capacidade potencial de estruturação do solo, promovendo uma potencial utilização do recurso a longo prazo. A integração de sistemas agropecuários, composta pelo rotação/sucessão de leguminosas e gramíneas, promove condições adequadas de utilização do uso da área, para as propriedades do solo e das culturas, devido ao sistema de maior cobertura e estruturação do solo que confere mais sustentabilidade ao sistema de produção.

As práticas de manejo do solo, enfrentam diversos fatores que influenciam diretamente na dinâmica dos sistemas produtivos, como a presença de nematoides parasitas de plantas que proporcionam perdas significativas de produtividade. Os fitonematoides quando encontrados no solo, tornam difícil sua erradicação, pois são organismos diferenciados em hábitos alimentares e condições de sobrevivência, sendo assim uma das alternativas para que seu impacto seja o menos deletério possível, é oferecer condições ao sistema solo, respeitando suas propriedades e seu histórico de utilização, para tornar esse processo com menor impacto para as culturas.

A utilização de métodos conservacionistas de manejo do solo, como o plantio direto, que melhora a estruturação física e química do solo, também a integração de cultivos que proporcionam cobertura do solo e fotossíntese o ano inteiro, pode promover condições adequadas para que a biologia do solo, favoreça atividades funcionais dos microrganismos e a macrofauna edáfica. Isto é de extrema importância para que se obtenha resultados significativos do ponto de vista de cultivos agrícolas de maneira sustentável.

## **2 HIPÓTESES E OBJETIVOS**

As hipóteses do estudo foi que: 1) os sistemas integrados, contribuem para a melhoria na qualidade do solo para agricultura, 2) Os atributos do solo possam suprimir os efeitos deletérios dos fitonematoides ao longo do tempo.

Os objetivos foram de: avaliar de forma integrada os atributos do solo e diversidade da macrofauna e mesofauna em sistemas de integração lavoura-pecuária; e a influência dos atributos na dinâmica da comunidade de fitonematoides na cultura da soja em solos arenosos.



### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Importância do cultivo da soja

A soja é uma cultura com ciclo de vida curto, que varia entre 90 e 160 dias de acordo com cada variedade, e seu desenvolvimento se divide em dois estádios de desenvolvimento, proposto por Fehr e Caviness (1977), o vegetativo, no qual a planta gasta energia para crescer e produzir folhas, e o estágio reprodutivo, quando surgem as folhas e as vagens. Existem fatores que podem interferir no adequado desenvolvimento da cultura como clima, temperatura, água entre outros fatores que exigem um melhor entendimento da cultura e da relação solo-planta-atmosfera, para que se obtenha uma redução dos riscos de insucesso da produção agrícola (Neumaier *et al.*, 2020).

O Brasil é um dos líderes mundiais na produção e exportação de soja (*Glycine max*), representando cerca de 33% de área cultivada no mundo (USDA, 2023). Segundo a Conab (2023), a safra 2022/2023 estimou um crescimento na produção de 23,2%, com cerca de 44.075,6 mil ha de área plantada, comparada com a safra anterior. Isso foi devido às boas condições climáticas ocorridas na maioria das regiões produtoras, aliado com a alta tecnologia empregada pelos produtores e a demanda de comercialização do produto.

Considerando o conjunto de ações que o Brasil apresenta na utilização do solo, água, biotecnologia, a cadeia da soja brasileira torna-se mais competitiva e estratégica para dinâmica do crescimento do agronegócio (Rhoden, *et al.*, 2020). O grão da soja é rico em proteínas, com teor médio dos cultivares brasileiros de 40%, isso faz dela uma importante matéria-prima, além do seu emprego como adubo verde e forrageiro na alimentação animal. O óleo extraído do grão é utilizado na alimentação humana e na produção de biodiesel. O farelo também é importante na alimentação humana e animal, assim como na fabricação de outros produtos (Silva *et al.*, 2022).

Um dos maiores desafios enfrentados pela agropecuária é a produção sustentável, na dimensão ambiental, econômica e social, não somente importante, mas necessário um planejamento comum dessas dimensões, para que se obtenha eficiência produtiva. Encontrar formas de conhecer sua área de produção por meio de avaliações do solo e clima, assim como ter informações suficientes da

culturamanejada, torna o processo produtivo mais seguro, oferecendo boas condições ao ambiente ao longo do tempo (Hirakuri, 2020).

### **3.2 Sistemas de manejo conservacionista do solo**

Sistemas de cultivo com predomínio da monocultura, revolvimento e falta de cobertura do solo não contribuem para a conservação do solo, pois prejudicam a sustentabilidade do sistema e a capacidade produtiva, representado principalmente pela perda de solo causados pelas erosões. Sendo assim, existem práticas de manejo do solo, como semeadura direta, a presença de cobertura constante na superfície do solo, rotação de culturas, entre outras que potencializam a melhor utilização do solo, sustentando as atividades neste sistema ao longo do tempo (Telles *et al.*, 2022).

O manejo do solo consiste em um conjunto de ações realizadas com o intuito de proporcionar condições favoráveis para o adequado desenvolvimento das culturas ao longo do tempo. Os sistemas de cultivo conservacionistas, são benéficos ao solo, pois são conduzidos com a mínima mobilização do solo, cobertura permanente por culturas ou por resíduos, além da diversificação de espécies vegetais, promovendo ganhos consideráveis à conservação do solo e à produtividade das culturas (Conte *et al.*, 2020).

O sistema de plantio direto está em consonância com diversas premissas conservacionista para o uso do solo, sendo adicionando biomassa suficiente para proteção do solo, resultando no balanço positivo de carbono, além de contribuir para o estoque de matéria orgânica do solo. No Brasil, este tipo de sistema de produção surgiu no início da década de 1970, com experiências pioneiras no estado do Paraná, mas somente no final da década de 1980, sua utilização teve crescimento exponencial. Resultados de estudos realizados pela Embrapa Soja, mostram que nos primeiros anos após a adoção do sistema de plantio direto, a produtividade é semelhante ou inferior ao preparo convencional, devido a fase de estabilização, que pode variar de 6 a 12 anos, o que demonstra a relevância do processo sucessivo e continuado (Franchini *et al.*, 2012).

A diversificação de espécies vegetais por meio da sucessão, rotação e/ou consorciação de culturas é importante para a sustentabilidade do sistema de produção, podendo ser feita tanto com lavouras quanto com espécies forrageiras em sistemas de integração. Espécies produtoras de grande quantidade de palha e raiz,

além de promover a reciclagem de nutrientes e aumentar a proteção do solo contra ação dos agentes erosivos, melhora a qualidade física, química e biológica do solo, por meio do efeito de raízes e adição de matéria orgânica. A melhoria da fertilidade química do solo, por meio da diversificação de culturas, constitui na racionalização do uso de fertilizantes, podendo a longo prazo diminuir os custos de produção, evitando a redução dos teores de nutrientes no solo (Debiasi *et al.*, 2020).

Um fator de extrema importância na utilização do solo é a avaliação criteriosa do nível de degradação e da capacidade de suporte, orientada por indicadores de qualidade, que proporcionam melhores condições de administração dos recursos, assim como as necessidades de produção agrícola, principalmente em solos arenosos que é considerado um ambiente frágil (Baiamonte *et al.*, 2019). O desenvolvimento de sistemas agrícolas integrados, proporciona a diversificação da produção agrícola, o que aumenta o potencial de qualidade do produto com maior eficiência no uso de insumos e com atuação do ciclo de doenças (Balbino *et al.*, 2011).

### **3.3 Sistemas de integração lavoura-pecuária**

Os sistemas de integração lavoura-pecuária contribuem para o desenvolvimento da agricultura e pecuária de forma sustentável, no qual se fundamenta na redução de mobilização do solo, manutenção de resíduos culturais na superfície e a diversificação de espécies por meio de rotação ou sucessão de culturas, além da importante presença do componente animal, com suas funções biológicas, contribuindo para a qualidade do solo ao longo do tempo (Soares *et al.*, 2019). O plantio direto e a diversificação das culturas interferem na qualidade estrutural do solo, na diversidade microbiana e na incidência de patógeno com impacto na produtividade agrícola (Zhang *et al.*, 2019).

Os sistemas de integração, atuam de maneira positiva no combate da degradação do solo, principalmente em solos arenosos que possuem condições limitantes. Estudo realizado por Salton *et al.* (2014), destacaram que pastagens proporcionam melhor agregação do solo, além de melhorar os atributos químicos e biológicos do solo, além da diferença na ocorrência de nematoides encontrada, sendo menor em sistemas diversificados o que sugere uma proliferação limitada.

O desenvolvimento e implementação desse sistema, requer um planejamento, que proporcione significativas melhoras no âmbito econômico, social e ambiental, sendo orientada pelo plantio de culturas agrícolas anuais como a soja, associado a espécies forrageiras mais utilizadas, como a braquiária. Essa estrutura de desenvolvimento possibilita recuperação de pastagens pelo aproveitamento da adubação residual da cultura principal, além de proporcionar maior estabilidade das culturas, favorecendo um ambiente edáfico biologicamente mais ativo quando comparado a outros sistemas de cultivo (Grahmann *et al.*, 2020).

No Brasil, as gramíneas do gênero *Urochloa* são largamente utilizadas em pastagens como espécie forrageira, tendo sido introduzida na região centro-oeste a partir da década de 1960, ocupando cerca de 80% das pastagens, intensificando a atividade pecuária no país. Sua adaptação às mais variadas condições de solo e clima, proporcionou produções satisfatórias de forragem em solos com baixa e média fertilidade contribuindo para melhoria da qualidade do solo. No entanto, a crescente demanda por alimentos e a evolução tecnológica, passaram a caracterizar sistemas simplificados de monocultivo, o que levou a ocorrência de degradação do solo (Kluthcouski *et al.*, 2013).

O manejo do solo de semeadura direta, conserva as condições do solo e o material residual, as gramíneas do gênero *Urochloa* são as principais opções de integração com a cultura da soja, principalmente para a formação de palhada, devido à alta relação C/N presente em sua composição, sendo resultado de sua maior concentração de lignina, o que prolonga o seu tempo de decomposição, proporcionando alta produção de matéria seca. Sua palhada também contribui para a formação de uma espessa e distribuída camada de material residual na superfície do solo, construindo uma barreira física, o que favorece o controle de plantas daninhas e patógenos, assim como uma proteção estrutural, contribuindo para a qualidade do microclima do solo (Nepomuceno *et al.*, 2012).

A sucessão da soja e pastagem aumenta o rendimento de grãos de soja em comparação ao pousio, além do rendimento mais expressivo da soja ser explicado pelo impacto das raízes de forrageiras, com possibilidade não fornecer condições favoráveis para sobrevivência de organismos parasitas (Balbinot Junior *et al.*, 2017). Como também pode ser benéfico pela manutenção da atividade microbiana no solo e pela descompactação proporcionada pela profundidade das raízes no solo, além de

benefícios na fertilidade do solo como a maior disponibilidade de nutrientes no solo (Baptistella *et al.*, 2020).

### **3.4 Nematoides na cultura da soja e como indicadores de qualidade do solo**

Os nematoides são organismos aquáticos que se adaptaram muito bem no solo, devido a maior preservação de umidade que esse sistema possui. Os nematoides de forma geral são indicadores de qualidade do solo que se diferenciam pelas atividades desenvolvidas no sistema, com espécies de não fitoparasitas (VL) que atuam como reguladores da comunidade microbiana do solo, ciclagem e disponibilidade de nutrientes para as plantas, atuando ativamente na decomposição da matéria orgânica, sendo considerados benéficos para o solo (Ferris, 2010). Contudo, no solo há também espécies parasitas de plantas, que causam efeitos negativos às culturas hospedeiras e sérios problemas econômicos para a agricultura mundial (Iqbal; Jones, 2017).

Os nematoides são caracterizados por meio do seu hábito alimentar, podendo ser bacterívoros, fungívoros, herbívoros, onívoros e predadores. Os nematoides de não fitoparasitas (VL), ou seja, benéficos para a qualidade do solo, constituem 60% a 80% de todos os nematoides do solo em sistemas conservacionista do solo. Todos são envolvidos na ciclagem de nutrientes e na transferência de energia dentro da cadeia alimentar do solo, sendo importante ressaltar que suas densidades são sensíveis aos níveis de perturbações ambientais (Lu *et al.*, 2020).

Os nematoides parasitas se diferem de acordo com seu hábito alimentar no sistema radicular das plantas (ectoparasitário, endoparasitário ou semi-endoparasitário) e através de seu comportamento migratório ou sedentário após a infecção. A maioria das espécies sobrevivem na forma de ovos, contudo, outras desenvolveram estratégias de sobrevivência específicas (Dinardo-Miranda; Miranda, 2018).

Ao longo do tempo apresentaram modificações de partes do aparelho bucal em uma estrutura resistente, denominada estilete, que por sua vez conferiu aos nematoides parasitas uma capacidade de adaptar-se a outra fonte alimentar, extraindo seu alimento de células vegetais. O estilete perfura os tecidos da parede celular e, a princípio, injetam secreções enzimáticas no interior das células, e essas secreções promovem uma pré-digestão do conteúdo celular, que, posteriormente, será sugado

com o auxílio do estilete, sendo que essa ação pode induzir alterações na morfologia da célula e das células adjacentes ou necrose dos tecidos, predispondo a planta ao ataque de outros organismos (Favoreto *et al.*, 2019).

A disseminação dos nematoides pode ocorrer de forma ativa, que depende exclusivamente da movimentação do organismo no solo na região da rizosfera e na raiz, ou de forma passiva, sendo realizada por agentes externos, como máquinas e implementos agrícolas, solado de sapatos, rodado de carros e caminhões entre outros, assim como a água de irrigação ou de chuva, que contribuem para a introdução e para a disseminação desses organismos no solo (Ribeiro *et al.*, 2019).

Os principais nematoides presentes na cultura da soja, são os de galhas (*Meloidogyne incognita* e *Meloidogyne javanica*), das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*), o reniforme (*Rotylenchulus reniformis*) e do cisto (*Heterodera glycines*), apresentando uma relevante variedade na densidade dos nematoides, de acordo com as características do organismo e do sistema de manejo predominante (Escobar *et al.*, 2015).

Os nematoides parasitas ou fitonematoides, são considerados um dos principais problemas fitossanitários, nas regiões de cultivo da soja no Brasil o *Pratylenchus brachyurus* têm aumentado os danos na cultura, com perdas de até 50% na produtividade da soja (Franchini *et al.*, 2014). Um levantamento realizado em 2022, revelou a presença de *Pratylenchus* spp. em 82,16% das amostras de soja coletadas no Brasil, chegando a 87,34% das amostras oriundas do Cerrado e quase 60% das amostras do Sul (Syngenta, 2022).

O gênero *Pratylenchus* spp. podem parasitar inúmeras culturas, incluindo soja, milho, algodão, plantas daninhas e inúmeras gramíneas forrageiras, apresentando maiores danos em solos com teores elevados de areia, especialmente se a soja é implantada após a pastagem degradada (Ferraz; Brown, 2016). Esses endoparasitas migradores, proporcionam danos traumáticos ao vegetal, resultante da ação física e química, que rompem as células vegetais, formando galerias e lesões necrosadas. Devido à particularidade deste nematoide, seu manejo se torna mais difícil, sua polifagia dificulta o controle por meio da rotação de cultura (Rocha; Dias-Arieira, 2023).

A expansão de áreas cultivadas com soja no Brasil, frequentemente não tem sido acompanhado por práticas de manejo adequadas, o que têm proporcionado aumento na incidência de nematoides, resultando em perdas significativa de

produtividade, visto que após a identificação da presença desses organismos, a possibilidade de erradicação é quase nula, podendo ser controlado pelo manejo do solo (Ferraz; Brown, 2016). O controle de nematoides e de doenças é orientado pelo planejamento adequado das atividades agrícolas, por meio do diagnóstico do solo, controle biológico e químico, nutrição equilibrada da planta, qualidade da semente, cobertura do solo e rotação/sucessão de culturas (Quist *et al.*, 2019; Leiva *et al.*, 2020).

Os sistemas de integração se apresentam comum diferencial promissor para o controle desses organismos, visto suas contribuições manejo do solo (Mcsorley; Duncan, 1995). Diversos fatores podem interferir na dinâmica (movimentação, alimentação e reprodução) das populações de nematoides em campo, como atributos de qualidade do solo, com maiores danos observados em solos arenosos com baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, devido à grande quantidade de macroporos, além de comprometer a formação de agregados, afetam a ecologia microbiana (Campos; Suárez; Laborde, 2020; Costa *et al.*, 2014). Práticas de conservação do solo, quando desenvolvidas adequadamente, tendem a reduzir a densidade populacional de nematoides o que minimiza os danos à produção agrícola.

Juntamente com os organismos que compõem a fauna do solo, os nematoides também possuem influência na qualidade do solo, podendo causar prejuízos para as culturas agrícolas, diminuindo a produtividade pela ação dos organismos parasitas, como também podendo promover a regulação de taxas ou velocidades de transformações do solo, como a decomposição de matéria orgânica, chegando a elevar as taxas de mineralização de carbono (respiração), e de outros nutrientes entre outros efeitos indiretos, através dos nematoides não fitoparasitas (VL) (Goulart, 2007a).

Os nematoides não fitoparasitas (VL), possuem uma alimentação variada incluindo bactérias, fungos, organismos mortos e ao mesmo tempo seu metabolismo libera nutrientes para as plantas, além de melhorar a estrutura do solo. Sua presença e distribuição, possui uma alta relação com o percentual de matéria orgânica e umidade do solo, participando de sua decomposição e mineralização de nutrientes, degradação de toxinas e no controle populacional de fitopatogênicos (Thomas, 2017; Campos *et al.*, 1985).

Duas práticas que se destacam é o sistema de plantio direto e a integração lavoura-pecuária, sendo as espécies de braquiária amplamente utilizadas em rotação com a soja no sistema de integração. As espécies de *Urochloa* são citadas como não

hospedeiras de nematoides de galhas, cistos e reniformes (Dias-Arieira *et al.*, 2003; Salton *et al.*, 2014), contudo são suscetíveis a *Pratylenchus* spp. (Inomoto *et al.*, 2007, 2011). Estudos que verificaram o fator de reprodução (FR) de *Pratylenchus brachyurus* mostram médias relativamente baixas, variando entre 1,5 a 4,0 (Inomoto *et al.*, 2007; Dias-Arieira *et al.*, 2009), enquanto no milho, os fatores de reprodução do nematoide variam de 10 a 60 (Inomoto *et al.*, 2007; Inomoto, 2011; Uebel *et al.*, 2013), isso mostra que quando bem manejada, as espécies de braquiária podem não ter efeitos prejudiciais na produtividade da soja (Costa *et al.*, 2014; Debiasi *et al.*, 2016).

A matéria orgânica do solo, consequência da diversidade cultural de cobertura e do sistema de plantio direto, mostra uma correlação negativa com o número total de nematoides e número de *Pratylenchus* spp. nos locais que orientaram os estudos de Dias-Arieira *et al.* (2021), destacando a importância da matéria orgânica nos sistemas agrícolas, pois além de outros benefícios, promove melhoria nas características químicas e físicas do solo, aumentando o efeito supressor do solo sobre os nematoides (Conceição *et al.*, 2005; Oka, 2010; Boulal *et al.*, 2011). A utilização de cultivares resistentes ou com baixo fator de reprodução de nematoides, juntamente com o adequado planejamento e execução da rotatividade de culturas, são métodos eficientes que contribuem positivamente para a matéria orgânica e atividade microbiana do solo, melhorando a qualidade do sistema de produção agrícola integrado (Avelino *et al.*, 2019).

Os nematoides são indicadores sensíveis às práticas de manejo do solo, principalmente em avaliações ao longo do tempo, podendo identificar possíveis relações com a microbiologia do solo e as alterações na patogenicidade das culturas em sistemas de rotação no desenvolvimento de sistemas integrados. Neste sentido, as práticas agrícolas devem ser desenvolvidas com o intuito de promover a diversidade biológica no solo, visando controlar os nematoides parasitas de plantas, e potencializar a presença dos nematoides não fitoparasitas (VL), que atuam na decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes nos sistemas de cultivo (Chauvin *et al.*, 2015).

### **3.5 Atributos microbianos do solo**

O solo é um sistema biológico dinâmico, considerado o principal reservatório de diversidade biológica. Diferentes grupos de organismos presentes no solo,



possuem funções atribuídas como a degradação inicial de componentes orgânicos e sua incorporação na estrutura do solo. A maior contribuição devido a diversidade metabólica se encontra em bactéria e fungos, quando comparado aos outros organismos edáficos. As comunidades microbianas do solo são reguladores-chave da dinâmica da matéria orgânica do solo, assim como da disponibilidade de nutrientes no sistema (Andreote; Cardoso, 2016).

Os atributos microbianos do solo, como a diversidade de microrganismos, atividade enzimática e biomassa microbiana, são indicadores sensíveis as alterações no sistema, podendo ser utilizados também como atributos de monitoramento e performance de qualidade do solo, úteis para orientar o planejamento e avaliação de práticas mais adequadas de manejo (Ferreira *et al.*, 2017).

A biomassa microbiana do solo é responsável pelos processos bioquímicos e biológicos do solo, sendo modificada pelas condições do meio, como clima, disponibilidade de nutrientes, tipo de manejo, entre outros fatores. A biomassa também representa o compartimento central do ciclo de alguns elementos presentes no sistema, como o ciclo do carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre no solo ou como catalisador na decomposição de matéria orgânica (Souza *et al.*, 2010).

Práticas de manejo conservacionista do solo, como semeadura direta, pousio sem revolvimento e sistemas de integração com *Urochloa*, proporcionam maior biomassa microbiana, podendo determinar o acúmulo de carbono no solo a longo prazo, como evidenciou Balota *et al.* (1998), destacando a importância dos parâmetros microbiológicos como bons indicadores de alterações no solo em função do tipo de manejo adotado.

A atividade enzimática de um solo pode fornecer informações a respeito da qualidade do solo, pois está relacionada com a formação de complexos com a matéria orgânica do solo e com a fração argila, assim como outras propriedades estruturais associadas. A atividade da desidrogenase têm papel importante na oxidação da matéria orgânica, além de participar da cadeia respiratória dos microrganismos e se relacionar com o tipo e às condições de aeração e umidade do solo. A arilsulfatase, por sua vez, se relaciona com o ciclo do enxofre, assim como a fosfatase têm relação com o ciclo do fósforo, já a atividade da glicosidade possui papel importante como fonte de carbono, oferecendo uma ideia da atividade biológica existente, tendo capacidade de estabilizar a matéria orgânica do solo, detectando o efeito do manejo (Balota *et al.*, 2013).

### **3.6 Atributos físicos, químicos do solo e a importância da macrofauna em sistemas agrícolas**

Os atributos físicos importantes para estrutura do solo e químicos como de grande relação com a fertilidade e disponibilidade de nutrientes no solo assim como os biológicos, compõem um sistema dinâmico que dão suporte para qualidade do solo. As propriedades do solo se relacionam com às práticas de manejo adotadas, a compactação do solo, pode limitar o crescimento das raízes, assim como a textura que demonstra o tipo de composição do solo em teor de areia, silte e argila, juntamente com as propriedades químicas, como o pH, matéria orgânica e os teores de nutrientes presente no sistema (Leiva *et al.*, 2020).

As espécies forrageiras, como estratégias de cultivo do solo que proporciona a pastagem, atuam como agregantes das partículas do solo devido ao denso sistema radicular que possuem (Perusso *et al.*, 2019). Os resíduos vegetais presentes na superfície do solo beneficiam as culturas semeadas em sucessão, proporcionando melhorias na agregação das partículas e diminuição da compactação do solo, aumento nos teores de matéria orgânica na decomposição e mineralização dos resíduos vegetais e melhoria da atividade microbiana, tanto nas camadas superficiais (0-0,10 m) como nas subsuperficiais (0,10-0,20 m) (Costa *et al.*, 2015).

A biologia do solo é composta por uma diversidade de organismos, sendo diferenciados pelo tamanho, podendo ser denominadas de micro, meso e macrofauna, assim como através de sua função ecológica no sistema solo. Assim como os microrganismos e mesorganismos (nematóides), a macrofauna edáfica também é utilizada como indicador de qualidade do solo. Para compreender melhor os efeitos das práticas de manejo, é possível avaliar a abundância da fauna do solo e sua diversidade, juntamente com os indicadores tradicionais de fertilidade do solo, assim como sua contribuição dinâmica para a estrutura e composição dos agregados do solo (Lima *et al.*, 2021).

As limitações na avaliação da conservação do solo apenas por métodos tradicionais, como análises químicas e físicas, muitas vezes deixa lacunas nos estudos que buscam identificar a solução de problemas existentes. Esse cenário, têm levado a buscas por indicadores como a fauna edáfica que atua na decomposição da matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes, na fragmentação da serapilheira, assim

como na abertura de galerias no solo, que complementem as metodologias de avaliação já existentes (Kraft *et al.*, 2021).

A macrofauna edáfica é um parâmetro de resposta rápida ao impacto dos tipos de sistemas de produção, isso possibilita seu uso como instrumento para avaliação de manejos sustentáveis nos sistemas agrícolas. Franco *et al.* (2016), mostrou mudanças no uso e manejo do solo, altera significativamente a abundância e diversidade de organismos da mesofauna e macrofauna do solo, assim como sua relação com os atributos físicos e químicos do solo, importantes para a avaliação da qualidade do sistema.

### **3.7 Relação das propriedades do solo com o controle de nematoides e com o rendimento da soja**

O rendimento de grãos e demais características agrônômicas da cultura da soja, são altamente afetadas pela monocultura, assim como pelas condições de edáficas e climáticas, sendo de extrema importância práticas de manejo adequadas, com o intuito de potencializar a capacidade produtiva da soja, minimizando os potenciais danos residuais, durante o cultivo. Sabe-se que propriedades físicas químicas e biológicas do solo quando bem estruturadas e manejadas, proporcionam resultados positivos com relação a produtividade (Santos *et al.*, 2014).

Sistemas de cultivo que visam a utilização de diferentes espécies vegetais, podem contribuir para as melhorias nas propriedades do solo, influenciando de forma diferentes na população de nematoides. Solos com maiores proporções de areia na sua composição favorecem a maioria das espécies de nematoides com importância econômica no Brasil, assim como solos degradados também podem ser favoráveis à multiplicação de nematoides, pois impedem o pleno desenvolvimento das plantas (Galbirei *et al.*, 2016; Leiva *et al.*, 2020; Dias-Arieira *et al.*, 2021).

Importante ressaltar que os fatores edáficos parecem exercer maior força sobre o desenvolvimento e produtividade da planta, do que a própria população de nematoides, acredita-se que solos bem manejados a planta tenha maiores condições de tolerar a infecção por nematoides, mantendo níveis adequados de produtividade mesmo na presença do parasita (Dias-Arieira *et al.*, 2023).

Goulart (2007b), em estudo comparativo do sistema de cultivo ILPF (Integração-lavoura-pecuária-floresta) em relação aos outros tipos de cultivos,

observou resultado positivo no quesito saúde do solo no sistema integrado, devido às elevadas comunidades, especialmente de nematoides não fitoparasitas (VL), com benefícios na função de ciclagem de nutrientes, controle populacional de microrganismos, estruturação do solo e regulação das taxas de decomposição da matéria orgânica. Com seu importante papel multifuncional os nematoides de não fitoparasitas (VL) contribuem de forma significativa para o funcionamento saudável dos ecossistemas edáficos.

Desta forma é importante avaliar o sistema de cultivo como um todo, visando não somente o controle de nematoides, mas também a recuperação da qualidade do solo, gerando ganho de produtividade. Estudo realizado, comparando sistemas de cultivo soja-milho, soja-braquiária com ILP entre 1 a 4 anos e soja-braquiária com ILP com mais de 4 anos, mostrou uma maior população de *Pratylenchus brachyurus* no sistema ILP mais consolidado, assim como uma maior produtividade neste mesmo sistema, possivelmente sendo explicada pelos benefícios que o sistema de integração pode agregar ao solo a longo prazo, mesmo com maior população do patógeno (Dias-Arieira *et al.*, 2023).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREOTE, F. D.; CARDOSO, E. J. B. N. Introdução à biologia do solo. *In*: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, 2016. p. 221.
- AVELINO, A. C. D.; FARIA, D. A.; OLIVEIRA, L. D.; TERZI, B. G.; CONTRERAS FILHO, A. S.; AFONSO, M. F.; RONDON, O. H. S.; ARIEIRA, G. O.; ABREU, J. G.; PEIXOTO, W. M. Phytonematodes in Integrated Crop-livestock Systems of Tropical Regions. **Journal Of Experimental Agriculture International**, v. 37, n. 4, p. 1-13, 2019. <http://dx.doi.org/10.9734/jeai/2019/v37i430275>.
- BAIAMONTE, G.; CRESCIMANNO, G.; PARRINO, F.; PASQUALE, C. Effect of biochar on the physical and structural properties of a sandy soil. **Catena**, v. 175, p. 294-303, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2018.12.019>.
- BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. **Marco Referencial: Integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília: Embrapa, 2011.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; SANTOS, J. C. F.; DEBIASI, H.; YOKOYAMA, A. H. Contribution of roots and shoots of Brachiaria species to soybean performance in succession. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 8, p. 592-598, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2017000800004>.
- BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 4, p. 641-649, 1998. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06831998000400009>.
- BALOTA, E. L.; NOGUEIRA, M.; MENDES, I. C.; HUNGRIA, M. Enzimas e seu papel na qualidade do solo. *In*: ARAÚJO, A. P.; ALVES, B. J. R. **Tópicos em ciência do solo**. 2013. v. 8, p. 189-250.
- BAPTISTELLA, J. L. C.; ANDRADE, S. A. L.; FAVARIN, J. L.; MAZZAFERA, P. Urochloa in Tropical Agroecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 119, 2020. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00119>
- BOULAL, H.; GÓMEZ-MACPHERSON, H.; GÓMEZ, J. A.; MATEOS, L. Effect of soil management and traffic on soil erosion in irrigated annual crops. **Soil Tillage Research**, v. 115, p. 62-70, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2011.07.003>.
- CAMPOS C, A.; SUÁREZ M, G.; LABORDE, J. Analyzing vegetation cover-induced organic matter mineralization dynamics in sandy soils from tropical dry coastal ecosystems. **Catena**, v. 185, p. 104264, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2019.104264>.
- CAMPOS, V. P., LIMA, R. D., ALMEIDA, V. F. Nematoides parasitas do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, v.11, n.126, p. 50-58, 1985.

CHAUVIN, C.; DOREL, M.; VILLENAVE, C.; ROGER-ESTRADE, J.; THURIES, L.; RISÈDE, J. Biochemical characteristics of cover crop litter affect the soil food web, organic matter decomposition, and regulation of plant-parasitic nematodes in a banana field soil. **Applied Soil Ecology**, v. 96, p. 131-140, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.07.013>.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, safra 2022/2023. 7º levantamento.** v. 10, n. 12, 2023.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Soil organic matter and other attributes as indicators to evaluate soil quality in conservation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29 p. 777-788, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000500013>.

CONTE, O.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Manejo do solo. *In*: SEIXAS, C. D. S. (ed.). **Tecnologias de Produção de Soja**. 17. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2020. Cap. 14, p. 347.

COSTA, M. J. N.; PASQUALLI, R. M.; PREVEDELLO, R. Efeito do teor de matéria orgânica do solo, cultura de cobertura e sistema de plantio no controle de *Pratylenchus brachyurus* em soja. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 40, n. 1, p. 63-70, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-54052014000100009>

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 852-863, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20140269>.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; DIAS, W. P.; RAMOS JUNIOR, E. U.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Práticas culturais na entressafra da soja para o controle de *Pratylenchus brachyurus*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1720-1728, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016001000003>.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; CONTE, O. Diversificação de espécies vegetais em sistemas de produção. *In*: SEIXAS, C. D. S. (ed.). **Tecnologias de Produção de Soja**. 17. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2020. Cap. 14, p. 347.

DIAS-ARIEIRA, C. R.; MIAMOTO, A.; MACHADO, A. C. Z.; SILVA, R. A.; ARAÚJO, F. G. Manejo cultural de nematoides. *In*: DIAS-ARIEIRA, C. R.; ARAÚJO, F. G.; MACHADO, A. C. Z. (Org.). **Manejo de Nematoides em Grandes Culturas**. 1. ed. Piracicaba: NPCT, 2023. v. 1, p. 191-225.

DIAS-ARIEIRA, C. R.; CECCATO, F. J.; MARINELLI, E. Z.; VECCHI, J. L. B.; ARIEIRA, G. O.; SANTANA-GOMES, S. M. Correlations between nematode numbers, chemical and physical soil properties, and soybean yield under different cropping systems. **Rhizosphere**, v. 19, p. 100386, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100386>.

DIAS-ARIEIRA, C. R.; FERRAZ, S.; FREITAS, L. G.; MIZOBUTSI, E. H. Avaliação de gramíneas forrageiras para o controle de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* (Nematoda). **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 25, n. 2 p. 473–477, 2003.

DIAS-ARIEIRA, C. R.; FERRAZ, S.; RIBEIRO, R. C. F. Reaction of forage grasses to *Pratylenchus brachyurus*. **Nematologia Brasileira**, v. 33, n. 1, p. 90-93, 2009.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; MIRANDA, I. D. **Nematóides**: Pragas agrícolas. Campinas: Centro de Cana - IAC e DMLab - Análises Agrícolas, 2018. 52 p.

ESCOBAR, C.; BARCALA, M.; CABRERA, J.; FENOLL, C. Overview of Root-Knot Nematodes and Giant Cells. **Advances In Botanical Research**, p. 1-32, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/bs.abr.2015.01.001>.

FAVORETO, L.; MEYER, M. C.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; MACHADO, A. C. Z.; SANTIAGO, D. C.; RIBEIRO, N. R. Diagnose e manejo de fitonematoides na cultura da soja. **Informe Agropecuário**, v.40, n.306, p.18-29, 2019.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Cooperative Extension Service-Iowa, State University, 1977. 11p. (Special Report, 80)

FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D. J. F. **Nematologia de plantas**: fundamentos e importância. Manaus: Norma, 2016. 251 p.

FERREIRA, E. P. B.; STONE, L. F.; MARTIN-DIDONET, C. C. G. Population and microbial activity of the soil under an agro-ecological production system. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 1, p. 22-31, 2017. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20170003>.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; TONON, B. C.; FARIAS, J. R. B.; OLIVEIRA, M. C. N.; TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crops Research**, v. 137, n. 3, p. 178-185, 2012.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; DIAS, W. P.; RAMOS JUNIOR, E. U.; SILVA, J. F. V. Perda de produtividade da soja em área infestada por nematoide das lesões radiculares na região médio norte do Mato Grosso. *In*: BERNARDI, A. C de C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão**: Resultados de um novo olhar. São Carlos: Embrapa Instrumentação, p. 274-278, 2014.

FRANCO, A. L. C.; BARTZ, M. L. C.; CHERUBIN, M. R.; BARETTA, D.; CERRI, C.E. P.; FEIGL, B. J.; WALL, D. H.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Loss of soil (macro) fauna due to the expansion of Brazilian sugarcane acreage. **Science Of The Total Environment**, v. 563, p. 160-168, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.116>.

GALBIERI, R.; VAZ, C. V. P.; SILVA, J. F. V.; ASMUS, G. L.; CRESTANA, S.; MATOS, E. S.; MAGALHÃES, C. A. S. Influência dos parâmetros do solo na ocorrência de fitonematoides. *In*: GALBIERI, R.; BELOT, J. L. (Ed.).

**Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: Biologia e medidas de controle.** Cuiabá: ImaMt, p. 37-90, 2016.

GOULART, A. M. C. **Diversidade de nematóides em agroecossistemas e ecossistemas naturais.** Platina, DF: Embrapa Cerrados, 2007a. 71p.

GOULART, A. M. C. Os nematoides de vida livre são indicadores de quais propriedades no solo? **EMBRAPA**, p. 1-68, 2007b.

GRAHMANN, K.; DELLEPIANE, V. R.; TERRA, J. A.; QUINCKE, J. A. Long-term observations in contrasting crop-pasture rotations over half a century: statistical analysis of chemical soil properties and implications for soil sampling frequency. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 287, p. 106710- 106721, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2019.106710>.

HIRAKURI, M. H. O contexto econômico da produção de soja. *In*: SEIXAS, C. D. S. (ed.). **Tecnologias de Produção de Soja**. 17. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2020. Cap. 14, p. 347.

INOMOTO, M. M.; MACHADO, A. C. Z.; ANTEDOMÊNICO, S. R. Reação de *Brachiaria* spp. e *Panicum maximum* a *Pratylenchus brachyurus*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32: p. 341–344, 2007. <https://doi.org/10.1590/S010041582007000400009>

INOMOTO, M. M.; SIQUEIRA, K. M. S.; MACHADO, A. C. Z. Sucessão de cultura sob pivô central para controle de fitonematoides: variação populacional, patogenicidade e estimativa de perdas Trop. **Tropical Plant Pathology**, v. 36, p. 178-185, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-56762011000300006>.

IQBAL, S.; JONES, M. G. K. Nematodes. **Encyclopedia Of Applied Plant Sciences**, p. 113-119, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-394807-6.00061-7>.

KLUTHCOUSKI, J.; CORDEIRO, L. A. M.; CECCON, G.; OLIVEIRA, P. Braquiária na agropecuária brasileira: uma história de sucesso. *In*: CECCON, G. (ed.). **Consórcio Milho-Braquiária**. Brasília: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. p. 175.

KRAFT, E.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; CARNEIRO, M. C.; KLAUBERG-FILHO, O.; BARETTA, C. R. D. M.; BARETTA, D. Edaphic fauna affects soybean productivity under no-till system. **Scientia Agricola**, v. 78, n. 2, p. 1-11, 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2019-0137>.

LEIVA, N. P. F.; SANTANA-GOMES, S. M.; ZABINI, A. V.; VELÁZQUEZ, L. M. G.; DIAS-ARIEIRA, C. R. Soil chemical properties and their relationship with hytonematode populations inside and outside patches of soybean fields. **Rhizosphere**, p. 100231, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100231>.

LIMA, S. S.; AQUINO, A. M.; SILVA, R. M.; MATOS, P. S.; PEREIRA, M. G. Edaphic fauna and soil properties under different managements in areas impacted by natural disaster in a mountainous region. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, p. 1-16, 2021. <http://dx.doi.org/10.36783/18069657rbcS20200156>.



LU, Q.; LIU, T.; WANG, N.; DOU, Z.; WANG, K.; ZUO, Y. A review of soil nematodes as biological indicators for the assessment of soil health. **Frontiers Of Agricultural Science And Engineering**, v. 7, n. 3, p. 275, 2020. <http://dx.doi.org/10.15302/j-fase-2020327>.

MCSORLEY, R.; DUNCAN, L. W. 8 Economic thresholds and nematode management. **Advances In Plant Pathology**, v. 11, p. 147-171, 1995. [http://dx.doi.org/10.1016/s0736-4539\(06\)80010-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0736-4539(06)80010-3).

NEPOMUCENO, M. P.; VARELA, R. M.; ALVES, P. L. C. A.; MARTINS, J. V. F. Períodos de dessecação de *Urochloa ruziziensis* e seu reflexo na produtividade da soja RR. **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, p. 557-565, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582012000300011>.

NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; MERTZ-HENNING, L. M.; FOLONI, J. S. S.; MORAES, L. A. C.; GONCALVES, S. L. Ecofisiologia da soja. *In*: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. de C. (ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. Cap. 2, p. 33-54.

OKA, Y. Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments: a review. **Applied Soil Ecology**, v. 44, n. 2, p. 101-115, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.11.00>.

PERUSSO, R. L. S.; BONINI, C. S. B.; NASCIMENTO, C. A. S.; SOUZA, J. F. D.; LUPATINI, G. C.; SOUZA, H. A.; PEDRO, F. G. Distribuição do tamanho de poros em um Latossolo Vermelho em sistema integrado de produção agropecuária. **Colloquium Agrariae**, v. 15, n. 2, p. 51-60, 2019. <http://dx.doi.org/10.5747/ca.2019.v15.n2.a284>.

QUIST, C. W.; GORT, G.; MOOIJMAN, P.; BRUS, D. J.; ELSEN, S. V. D.; OSTENKO, O.; VERVOORT, M.; BAKKER, J.; PUTTEN, W. H. V. D.; HELDER, J. Spatial distribution of soil nematodes relates to soil organic matter and life strategy. **Soil Biology And Biochemistry**, v. 136, p. 107542, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107542>.

RIBEIRO, R. C. F.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; MACHADO, A. C. Z.; DIAS, M. S. C.; JESUS, A. M. Manejo de fitonematoides. **Informe Agropecuário**, v. 40, n. 306, p. 30-39, 2019.

ROCHA, M. R.; DIAS-ARIEIRA, C. R. Principais nematoides em grandes culturas. *In*: Claudia R. Dias-Arieira; Fernando G. de Araújo; Andressa C.Z. Machado. (Org.). **Manejo de Nematoides em Grandes Culturas**. 1. ed. Piracicaba: NPCT, 2023, v. 1, p. 33-49.

RHODEN, A C.; COSTA, N L.; SANTANA, A C.; OLIVEIRA, G N.; GABBI, M T T. Análise das Tendências de Oferta e Demanda para o Grão, Farelo e Óleo de Soja no Brasil e nos Principais Mercados Globais. **Desenvolvimento em Questão**, v. 18, n. 51, p. 93-112, 2020.

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: toward a sustainable production system: toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 70-79, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.023>.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; PIRES, J.; LAMPERT, E. A.; VARGAS, A. M.; VERDI, A. C. Rendimento de grãos e características agrônômicas de soja em função de sistemas de rotação de culturas. **Bragantia**, v. 73, n. 3, p. 263-273, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0136>.

SILVA, F.; BORÉM, A.; SEDIYAMA, T.; CÂMARA, G. **Soja: do plantio à colheita**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2022.

SOARES, D. S.; RAMOS, M. L. G.; MARCHÃO, R. L.; MACIEL, G. A.; OLIVEIRA, A. D.; MALAQUIAS, J. V.; CARVALHO, A. M. How diversity of crop residues in long-term no-tillage systems affect chemical and microbiological soil properties. **Soil And Tillage Research**, v. 194, p. 104316-104328, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2019.104316>.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S.; CARVALHO, P. C. F.; MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 79-88, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000100008>

SYNGENTA. **Nematoides**. 2022.

TELLES, T. S.; MELO, T. R.; RIGHETTO, A. J.; DIDONÉ, E. J.; BARBOSA, G. M. C. Soil management practices adopted by farmers and how they perceive conservation agriculture. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, n.1, p. 1-13, mar. 2022. <http://dx.doi.org/10.36783/18069657rbcs20210151>.

THOMAS, B.; MURRAY, B.G.; MURPHY, D. J. (ed.). **Encyclopedia of applied plant sciences**. 2. ed. Oxford: Elsevier, 2017. v. 1.

UEBEL, M.; GARBIN, L. F.; SILVA, R. A.; SANTOS, P. S. Reação de cultivares de *Brachiaria* spp. **Connection Line-Revista Eletrônica do Univag**, n. 10, 2013. <http://dx.doi.org/10.18312/F1980-7341.n10.2013.54>.

USDA. **UnitedStates Department of Agriculture**. 2023.

ZHANG, S.; CUI, S.; MCLAUGHLIN, N. B.; LIU, P.; HU, N.; LIANG, W.; WU, D.; LIANG, A. Tillage effects outweigh seasonal effects on soil nematode community structure. **Soil And Tillage Research**, v. 192, p. 233-239, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2019.05.017>.

## APÊNDICE I - ARTIGO I

## IMPACTOS DOS ATRIBUTOS DO SOLO NA COMUNIDADE DE NEMATOIDES E NO RENDIMENTO DA SOJA EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

### Resumo

A expansão de áreas cultivadas com soja no Brasil geralmente não é acompanhada de práticas de manejo do solo e rotação de culturas adequadas, o que proporciona variações na ocorrência de nematoides e perdas significativas de produtividade. Os sistemas de integração lavoura-pecuária com práticas de manejo conservacionista do solo, sustentada pela diversificação de culturas, têm elevado potencial de promover qualidade sustentável ao sistema. O objetivo do estudo foi avaliar de forma integrada os atributos químicos, físicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária, com efeito no controle da comunidade de *Pratylenchus* spp. e *Helicotylenchus* spp. na soja, e da avaliação de nematoides não fitoparasitas (VL) em solos arenosos. O experimento foi conduzido durante três anos no município de Caiuá/SP, em área com estabelecimento de sistema de integração lavoura-pecuária desde 2016 com os tratamentos: Pousio CV: soja (com revolvimento do solo); Pousio PD: soja (sem revolvimento do solo); Ruziziensis: soja - *Urochloa ruziziensis*; Brizantha: soja - *Urochloa brizantha*. Os sistemas de integração apresentaram um melhor desempenho para os atributos avaliados, bem como para favorecer os nematoides não fitoparasitas (VL), que tiveram maior presença nesses sistemas. *Pratylenchus* spp. foi encontrado em maior número na raiz da soja nos tratamentos com integração, entretanto foi verificada uma maior produtividade da soja, o que demonstra a efetividade que o sistema de manejo pode agregar ao solo e que o efeito deletério do fitonematoides foi inferior aos benefícios proporcionados pela integração.

**Palavras-chave:** Qualidade do solo; sistemas conservacionistas; propriedades edáficas; fitonematoides; nematoides não fitoparasitas.

## IMPACTS OF SOIL ATTRIBUTES IN NEMATOID COMMUNITY AND SOYBEAN YIELD IN A LIVESTOCK CROP INTEGRATION SYSTEM

### Abstract

The expansion of areas cultivated with soybeans in Brazil is generally not accompanied by adequate soil management practices and crop rotation, which leads to variations in the occurrence of nematodes and significant losses in productivity. Crop-livestock integration systems with soil conservation management practices, supported by crop diversification, have high potential to promote sustainable quality to the system. The objective of the study was to evaluate in an integrated way the chemical, physical and biological attributes of the soil in integrated crop-livestock systems, with an effect on controlling the *Pratylenchus* spp. community. and *Helicotylenchus* spp. in soybeans, and the evaluation of non-phytoparasitic nematodes (VL) in sandy soils. The experiment was conducted for three years in the municipality of Caiuá/SP, in an area with the establishment of a crop-livestock integration system since 2016 with the treatments: Fallow CV: soybeans (with soil disturbance); Fallow PD: soybeans (without soil disturbance); Ruziziensis: soybean

- *Urochloa ruziziensis*; Brizantha: soybean – *Urochloa brizantha*. The integration systems showed better performance for the evaluated attributes, as well as favoring non-phytoparasitic nematodes (VL), which had a greater presence in these systems. *Pratylenchus* spp. was found in greater numbers in the soybean root in treatments with integration, however, greater soybean productivity was observed, which demonstrates the effectiveness that the management system can add to the soil and that the deleterious effect of phytonematodes was inferior to the benefits provided by integration.

**Keywords:** Soil quality; conservation systems; soil properties; phytonematodes; non-phytoparasitic nematode.

## Introdução

O conjunto de ações realizadas com o intuito de proporcionar melhores condições de manejo do solo para o adequado desenvolvimento das culturas ao longo do tempo, sustenta as premissas dos sistemas conservacionistas do solo, pois são conduzidos com a mínima mobilização do solo, cobertura permanente por culturas ou por resíduos, além da diversificação de espécies vegetais, promovendo ganhos consideráveis à conservação do solo e à produtividade das culturas (Conte *et al.*, 2020). A criteriosa avaliação dos níveis de degradação do solo e da capacidade de suporte do sistema, perpassa utilização de indicadores de qualidade, que conferem melhores condições de administração dos recursos, assim como as necessidades de produção agrícola, principalmente em solos arenosos que é considerados ambientes frágeis (Baiamonte *et al.*, 2019).

O desenvolvimento e implementação de sistemas integrados, requer planejamento adequado as condições do solo, para que proporcione significativas melhoras no âmbito econômico, social e ambiental. A estrutura desse sistema é orientada pela utilização de culturas agrícolas anuais como a soja, associado a espécies forrageiras mais utilizadas como a *Urochloa*. Essa estrutura de desenvolvimento possibilita recuperação de pastagens pelo aproveitamento da adubação residual da cultura principal, podendo proporcionar maior estabilidade das culturas, o que favorece o ambiente edáfico biologicamente mais ativo quando comparado a outros sistemas de cultivo (Grahmann *et al.*, 2020).

A diversificação de espécies vegetais por meio da rotação de culturas é importante para a sustentabilidade do sistema de produção, podendo ser feita com mudanças de espécies em cada época de cultivo, quanto com espécies forrageiras em sistemas de integração. Espécies produtoras de grande quantidade de palhada e raiz, são as mais indicadas, pois além de promover a reciclagem de nutrientes e aumentar a proteção do solo contra ação dos agentes erosivos, melhora a qualidade física, química e biológica, por meio do efeito de raízes e adição de matéria orgânica. A melhoria da fertilidade química do solo, por meio da diversificação de culturas, constitui na racionalização do uso de fertilizantes, podendo a longo prazo diminuir os custos de produção, evitando a redução dos teores de nutrientes no solo (Debiasi *et al.*, 2020).

Os sistemas de integração, além de atuarem de maneira positiva no combate da degradação do solo, principalmente em solos arenosos que possui condições limitantes, também é muito promissora no controle da comunidade de fitonematoides, considerando à capacidade de multiplicação das espécies em cada genótipo utilizado. Estudo realizado por Salton *et al.* (2014), destacou que pastagens proporcionam melhor agregação do solo, melhora o comportamento os atributos químicos e biológicos do solo, com capacidade de reduzir a ocorrência de nematoides sistemas em sistemas integrados.

O rendimento de grãos e demais características agronômicas da cultura da soja, são altamente afetadas pela monocultura, assim como pelas condições de edáficas e climáticas, sendo de extrema importância práticas de manejo adequadas, com o intuito de potencializar a capacidade produtiva da soja, minimizando os potenciais danos residuais, durante o cultivo. Sabe-se que propriedades físicas, químicas e biológicas do solo quando bem estruturadas e manejadas, proporcionam resultados positivos com relação a produtividade (Santos *et al.*, 2014). A rotação entre soja e pastagem, têm o potencial de aumentar a produtividade de grãos, quando comparado ao sistema de pousio (Balbinot Junior *et al.*, 2017).

Atributos microbianos, químicos e físicos do solo parecem exercer maior força sobre o desenvolvimento da planta e produtividade de grãos, do que a população de nematoides. Desta forma é importante avaliar o sistema de cultivo como um todo, visando não somente o controle de nematoides, mas também a recuperação da qualidade do solo, gerando ganho de produtividade. Os sistemas de sistema de integração podem agregar muitos benéficos ao solo a longo prazo, onde em solos mais equilibrados e bem manejados, a planta tende a tolerar melhor a presença de organismos parasitas (Dias-Arieira *et al.*, 2023).

Esse estudo teve como objetivo avaliar de forma integrada os atributos químicos, físicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária, além do efeito no controle da comunidade de *Pratylenchus* spp. e *Helicotylenchus* spp. na soja, e da avaliação de nematoides não fitoparasitas (VL) em solos arenosos.

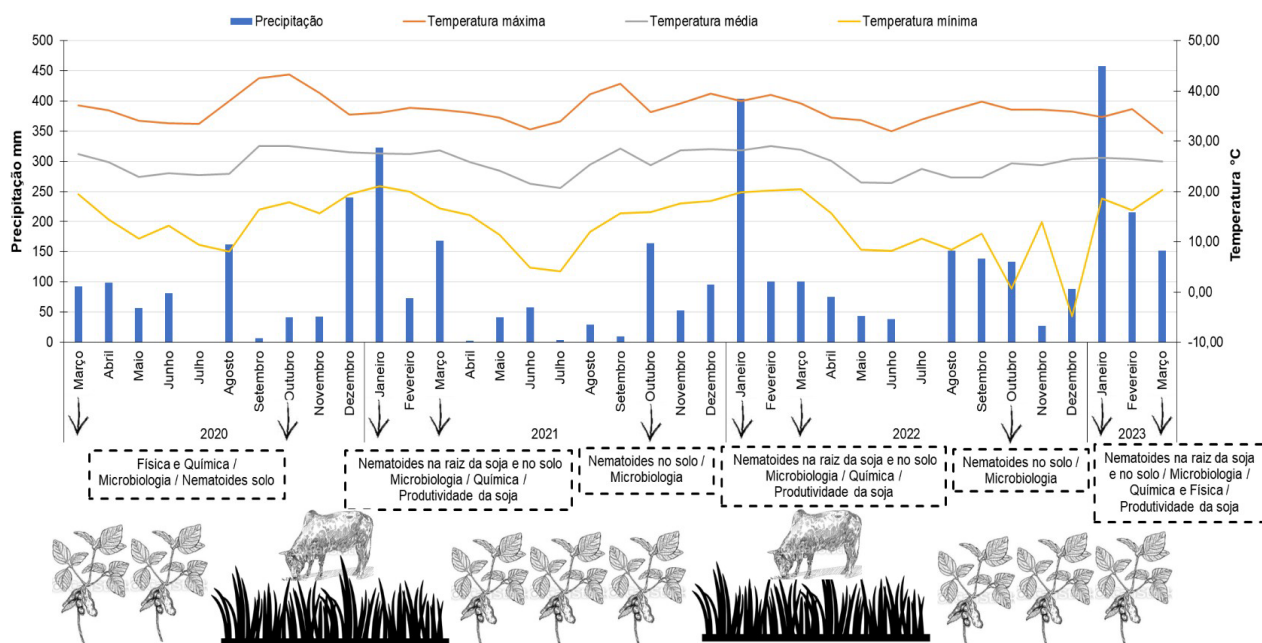
## **Material e métodos caracterização do experimento**

O experimento foi conduzido Fazenda Vó Altino, pertencente ao Grupo Facholi, localizada no município de Caiuá – SP, a 21° 49' 54" de latitude sul e 51° 59'54" de longitude oeste, com 330 m de altitude. O clima prevalecente na região é Aw, segundo classificação de Köppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, com probabilidade de veranicos nos meses de janeiro e fevereiro. A precipitação média anual é de 1.154 mm e a temperatura média anual é de 22,8 °C. O solo em estudo é um Latossolo Amarelo distrófico de textura arenosa (Santos *et al.*, 2018).

O período de análise experimental compreende de março 2020 à março 2023. Iniciando-se com a semeadura da soja na safra 2020/2021, seguida do plantio das forrageiras, fase de pastejo, dessecação do pasto e novamente a cultura da soja na safra 2021/2022 e 2022/2023. A área experimental é de 16,82 hectares, sendo 2,0 hectares o tamanho médio de cada parcela (piquete) experimental.

Os dados mensais referentes às temperaturas e precipitação pluvial foram coletados durante a condução do experimento, juntamente com os períodos de coleta das amostras de solo e raiz da soja (Figura 1)

Figura 1 - Condições climáticas registradas na condução do experimento, Caiuá — SP.



## Histórico da área experimental

O experimento teve início no ano de 2015 com a semeadura da soja em novembro e a colheita em março de 2016. No decorrer dos anos de 2016, 2017 e 2018 foram cultivadas safrinhas de milho consorciadas com forrageiras *Urochloa ruziziensis*, *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás na densidade de 5 kg ha<sup>-1</sup> de sementes puras viáveis, em linha com 0,4 m de espaçamento e a safra da soja no verão em sucessão. As adubações foram realizadas somente nas culturas de produção de grãos, seguindo a recomendação do Boletim Técnico 100 do Instituto Agrônomo (Rajj *et al.*, 1987).

Após a colheita da soja, no início de março de 2019, foi realizada a implantação de novas pastagens, como safrinha, que foram pastejadas por novilhos Nelore de maio a agosto de 2019, utilizando as pastagens de *Urochloa ruziziensis*, *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás e *Megathyrsus maximus* cv. BRS Zuri. Em setembro foi realizada a dessecação dos pastos safrinha para semeadura da soja na sequência. Após a colheita da soja, em março de 2020, foi realizada a implantação das pastagens com a semeadura das forrageiras, solteiras ou misturadas, consistindo em *Urochloa ruziziensis*, *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás e mistura de *Urochloa*



ruziziensis consorciada com BRS Paiaguás, nas proporções de 33 e 67%, respectivamente, e vice-versa. A semeadura dos pastos foi realizada em linha, com espaçamento de 0,17 m na densidade de 15 kg ha<sup>-1</sup> de sementes revestidas. O período de pastejo será de junho a agosto de 2020, com novilhos Nelore com peso médio de 260 kg e idade de 12 meses, visando manter altura do pasto em 0,30m e oferta adequada nos capins. Após o período de pastejo e boas condições de umidade, a área foi dessecada para posterior semeadura da soja da safra 2020/2021 e início do período de análise do experimento em questão.

### **Delineamento experimental e tratamentos**

O delineamento experimental foi estabelecido em blocos casualizados, com três repetições conduzido os seguintes tratamentos a partir da safra 2020/2021: Pousio CV: Soja – pousio (com revolvimento do solo); Pousio PD: Soja - pousio (sem revolvimento do solo); Ruzizensis: Soja- *Urochloa ruziziensis*; Brizantha: Soja – *Urochloa brizantha* (Figura 2).

Figura 2 - Representação do croqui da área de estudo, Caiuá – SP.



Fonte: Próprio autor

Esse estudo iniciou-se no mês de novembro de 2020, onde foi realizado a semeadura da soja cultivar Brasmax Fibra (safra 2020-21), recomendada de acordo com as condições edafoclimáticas da região. A semeadura foi realizada com a utilização de uma semeadora-adubadora com mecanismo sulcador do tipo haste (facão) para o plantio direto, com

espaçamento de 0,45m e, aproximadamente, 20 sementes por metro de sulco, almejando uma população próxima a 330.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Após a colheita dos grãos, no início de março de 2021, realizou-se a semeadura das forrageiras.

Para a semeadura das forrageiras, utilizou-se 15 kg de sementes ha<sup>-1</sup>, tratada com fungicida e inseticida, incrustada por silicato de magnésio e polímero de base orgânica. A semeadura foi realizada em linhas, com espaçamento de 0,17 m com a semeadora Modelo Semeato TDAX. Depois de formadas, teve início ao pastejo para avaliação do desempenho animal nestas pastagens, no período considerado como entressafra (maio a agosto 2021).

Foram utilizados novilhos da raça Nelore, com peso médio inicial de aproximadamente 220 kg e idade média de oito meses. Em cada parcela experimental foi utilizado um número fixo de animais “testers” e um número variável de reguladores, conforme a necessidade de ajuste na lotação para manutenção da meta de manejo do pasto. O método de pastejo adotado foi o contínuo com lotação variável, utilizando a técnica de put and take (Mott; Lucas, 1952), visando manter altura da pastagem em 0,30 m para todos os tratamentos (Franchini *et al.*, 2015; Euclides *et al.*, 2016).

Após o período de pastejo em 2021, foi realizada a dessecação dos pastos, seguida de repouso em torno de 30 dias para a completa senescência das plantas. Em seguida, sob a palhada, a soja foi semeada novamente (safra 2021-2022) no resíduo pós-pastejo dessecado, e foi conduzida até sua colheita em meados de março de 2022. Esse mesmo planejamento foi aplicado na safra de 2022/2023. Ressalta-se que a cultivar utilizada, bem como tratos culturais, foram os mesmos já mencionados para safra 2020/2021.

## **Avaliações**

### **Atividade microbiana do solo**

As amostras de solo composta por cinco subamostras foram coletadas em todos os anos do estudo (2020 a 2023), antes da semeadura e depois da colheita da soja, na camada de 0 - 0,10 m para a realização das seguintes análises de atividade microbiana:

Carbono da biomassa microbiana: Ferreira *et al.* (1999); Nitrogênio da biomassa microbiana: Tedesco *et al.* (1995); Hidrólise do diacetato de fluoresceína – FDA: Chein *et al.* (1998); Atividade da enzima desidrogenase: Van Os e Ginkel (2001);

Fosfatase ácida, glicosidase e arilsulfatase: Tabatabai (1994); Respiração basal: Jenkinson e Powlson (1976).

Com base na relação entre a respiração basal do solo e do carbono da biomassa microbiana, foi calculado o quociente metabólico ( $qCO_2$ ), e com base na relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico total do solo, foi calculado o coeficiente microbiano ( $qMIC$ ).

### **Nematoides no solo e na raiz da soja**

A avaliação nematológica do solo e raiz foi por meio de amostras composta por dez subamostras de cada unidade experimental, na camada de 0 – 0,20 m, as raízes da soja foram coletadas em estágio reprodutivo (R2 - R6) nas três safras de soja avaliadas, e também no solo após a dessecação do capim (antes da semeadura da soja). As amostras foram cuidadosamente retiradas, com o intuito de preservar as raízes secundárias e solo ao redor da raiz, posteriormente encaminhadas ao laboratório.

O solo de cada amostra foi homogeneizado para a extração dos nematoides em uma alíquota de 100 cm<sup>3</sup>, por meio da metodologia de flotação centrífuga em solução de sacarose (Jenkins, 1964). As raízes foram cuidadosamente lavadas, pesadas, homogeneizadas e cortadas em pedaços de 2 cm, para extração dos nematoides, de acordo com o método proposto por Coolen e D'Herde (1972).

As amostras foram avaliadas quanto aos gêneros de nematoides fitoparasitas (*Pratylenchus* spp. e *Helicotylenchus* spp.), bem como os nematoides não fitoparasitas (VL). As análises foram realizadas usando câmara de Peters (lâmina de contagem de nematoides) em microscópio de luz com objetiva de 10x.

### **Atributos químicos do solo**

Amostras de solo foram coletadas na camada de 0 – 0,20m para a avaliação da fertilidade, analisando pH (acidez), matéria orgânica, P (fósforo), H + Al (acidez potencial), K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio), SB (soma de bases), CTC (capacidade de troca catiônica), V% (porcentagem de saturação por bases), segundo metodologia descrita por Raij *et al.* (2001).

### **Atributos físicos do solo**

Amostras de solo foram coletadas na camada de 0 – 0,20m, depois do plantio da soja para avaliação de densidade do solo pelo método do anel volumétrico e da porosidade total pela saturação do solo (volume de poros totais do solo ocupado pela água), de microporosidade pelo método da mesa de tensão com coluna de água de 0,060 kPa e de macroporosidade, calculada por diferença entre a porosidade total e a microporosidade, segundo Teixeira *et al.* (2017).

### **Produtividade da soja**

A produtividade da soja foi avaliada com base em amostras selecionadas aleatoriamente dentro das unidades experimentais, sendo que as amostras foram constituídas por duas linhas de 5 m cada uma. As amostras coletadas em campo foram processadas por trilhadeira, acoplada na tomada de força de um trator. Os grãos trilhados foram levados ao laboratório para a correção da umidade para 13%, a produtividade de grãos em quilogramas por hectare.

### **Análise de dados**

Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo a diferença significativa entre os tratamentos determinada pelo teste F, com as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, desenvolvida no software estatístico SISVAR® (Ferreira, 2011).

### **Resultados**

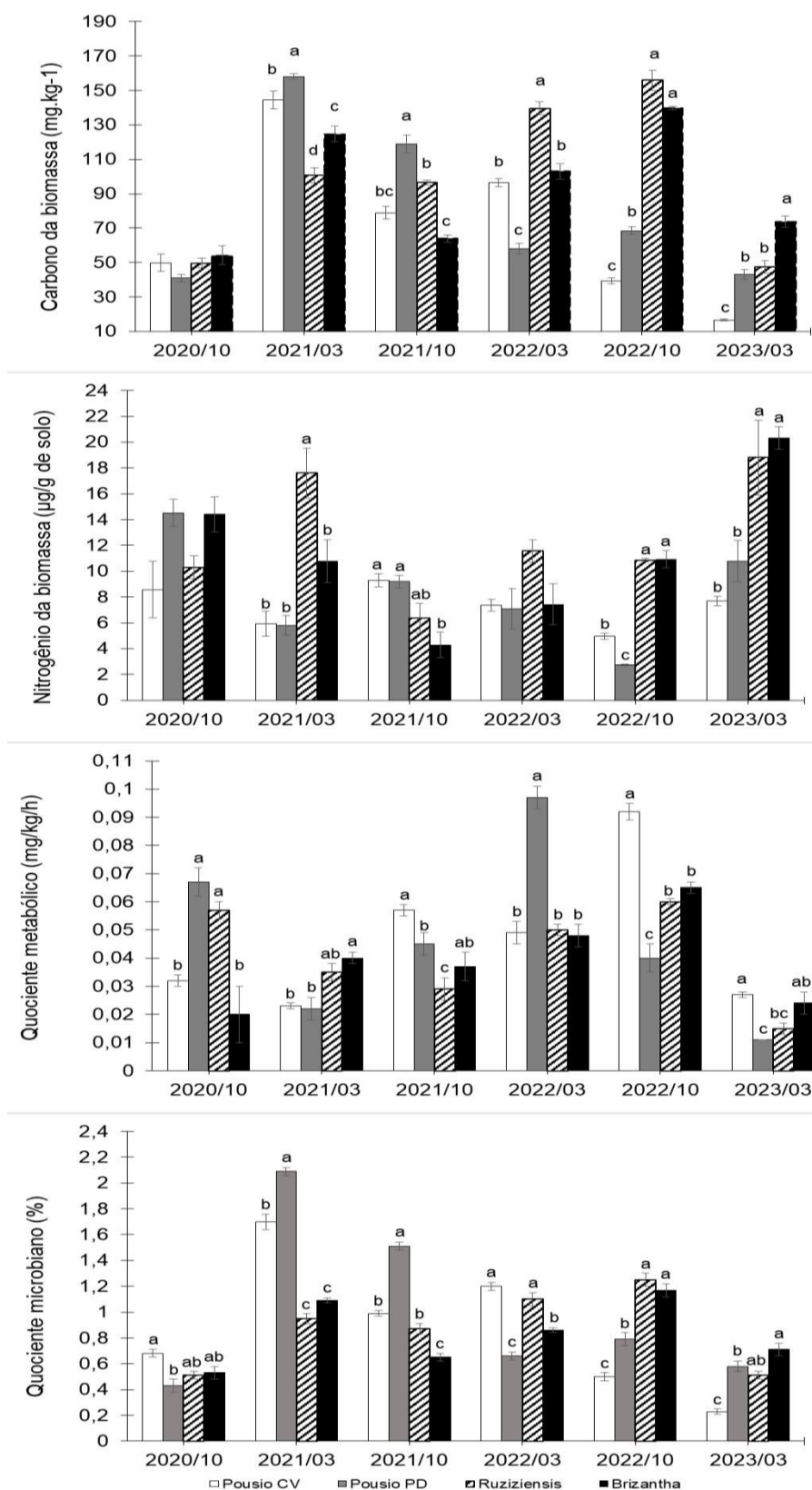
Os atributos de atividade microbiana do solo ao longo do estudo estão apresentados nas Figuras 3 e 4, parte da variabilidade encontrada pode ser explicada pelas variações das condições climáticas ao longo do estudo, com safras de verão mais secas e com mais chuvas, evidenciado na Figura 1.

O carbono da biomassa microbiana, apresentou mudanças nas diferentes épocas avaliadas destacando-se o tratamento com a utilização da *Urochloa ruzizensis* como superioridade significativa na maioria das épocas, comparando-se a soja em pousio (Figuras 3A). Este mesmo comportamento foi verificado no atributo do nitrogênio da biomassa, destacando-se com maior diferença nitrogênio microbiano com superioridade do tratamento com duas espécies de capim na última avaliação efetuada (Figura 3B).

O quociente metabólico ( $qCO_2$ ), apresentou-se com maiores valores nos tratamentos de Pousio CV e Pousio PD nas avaliações de 2022 (Figura 3C). Mas no anterior esses tratamentos também apresentaram os maiores valores de quociente microbiano (Figura 3D).

A atividade da desidrogenase apresentou tendência de aumento progressivo em todos os tratamentos com destaque nos dois últimos períodos de avaliação, onde destacaram-se os tratamentos com integração em comparação aos com pousio (Figura 4A) se diferenciando da enzima fosfatase ácida, no qual apresentou uma queda ao longo do período (Figura 4B). A arilsulfatase evidenciou com maior distinção a diferença entre os tratamentos com integração, destacando de forma significativa os resultados obtidos na área com a *Urochloa ruzizensis* (Figura 4C) já a enzima glicosidase apresentou essa diferenciação com mais separação entre os tratamentos a partir de 2022 (Figura 4D). De maneira geral, os tratamentos com integração se destacaram com melhor comportamento para a atividade enzimática (Figura 4)

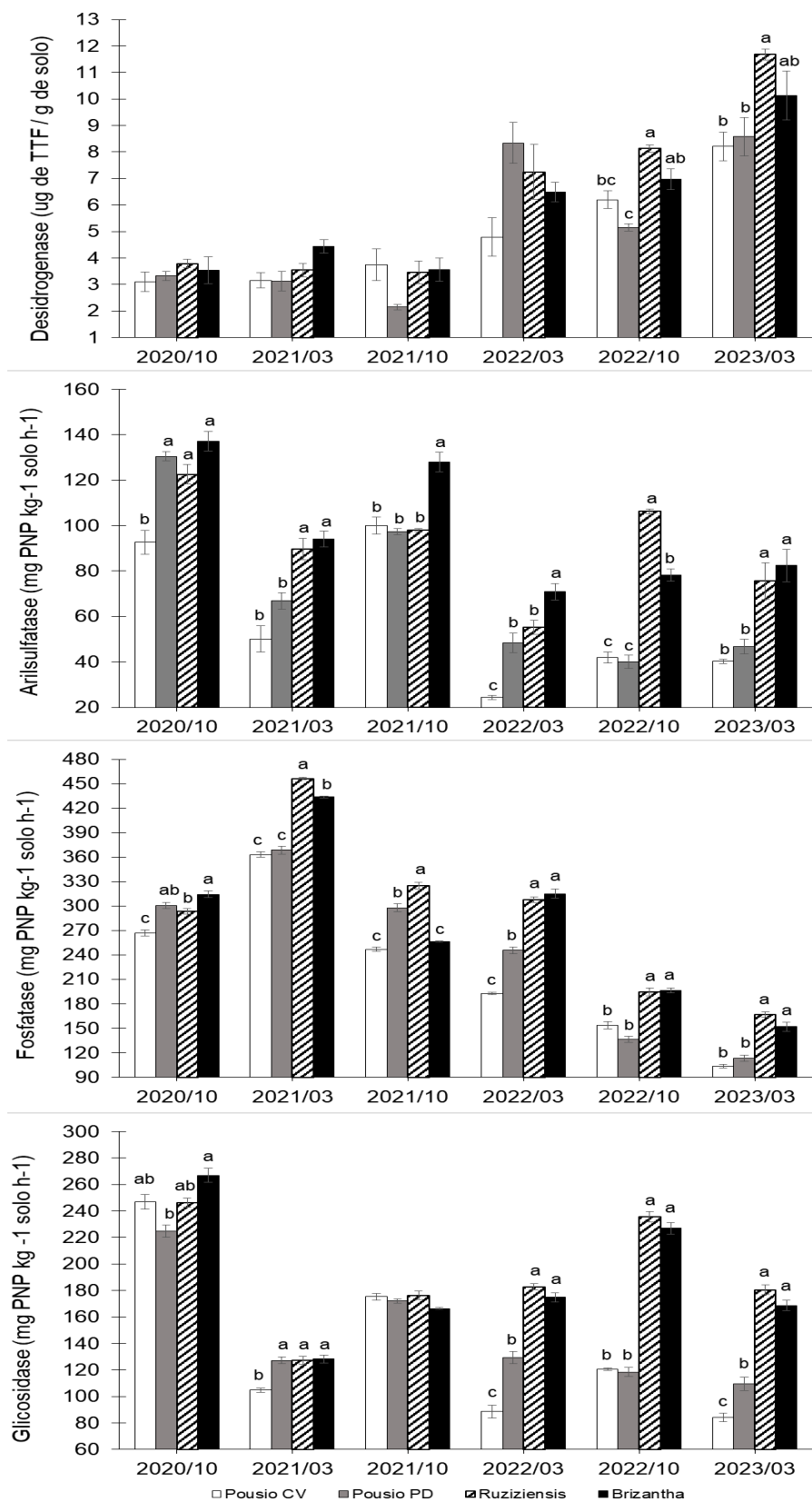
Figura 3 - Atributos microbianos do solo (0 – 0,10m), Caiuá – SP.



Fonte: A autora

Valores médios dos atributos microbianos do solo nos respectivos anos de avaliação. Significativo ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 4 - Atributos enzimáticos do solo (0 – 0,10m)), Caiuá – SP.



Fonte: A autora

Valores médios dos atributos microbianos do solo nos respectivos anos de avaliação. Significativo ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Considerando a média dos atributos microbianos (Tabela 1), destaca valores médios maiores nos tratamentos com integração do capim com a soja, para os atributos principalmente depois do cultivo da soja, com diferença significativa para carbono (CBM) e quociente microbiano (qMIC) antes e depois, nitrogênio (NBM) depois, quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) antes da soja.

Tabela 1 - Valores médios nos atributos microbianos do solo, no período de 2020a 2023, antes e depois do cultivo da soja em diferentes sistemas de produção (0 — 0,10m).

Tratamentos	CBM	CBM	NBM	NBM	qCO <sub>2</sub>	qCO <sub>2</sub>	qMIC	qMIC
	antes	depois	antes	depois	antes	depois	antes	depois
	(mg.kg <sup>-1</sup> )		(ug/g de solo)		(mg/kg/h)		(%)	
Pousio CV	56,1 c	85,8 b	7,6	6,9 b	0,06 a	0,03	0,7 b	1,0 a
Pousio PD	76,2 b	86,4 b	8,8	7,9 b	0,05 b	0,04	0,9 a	1,1 a
<i>Ruziziensis</i>	100,2 a	95,9 a	9,2	15,9 a	0,05 b	0,03	0,8 a	0,9 b
<i>Brizantha</i>	85,6 b	100,5 a	9,9	12,8 a	0,04 b	0,04	0,7 ab	0,9 b
<b>Média</b>	<b>79,7</b>	<b>92,2</b>	<b>8,9</b>	<b>10,9</b>	<b>0,05</b>	<b>0,04</b>	<b>0,8</b>	<b>0,1</b>

Fonte: A autora

Letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos. CBM: Carbono da biomassa microbiana; NBM: Nitrogênio da biomassa microbiana; qCO<sub>2</sub>: Quociente metabólico; qMIC: Quociente microbiano.

A média da atividade enzimática do solo (Tabela 2), apresentou diferença significativa em todos os atributos avaliados antes e depois do cultivo da soja, com valores mais elevados nos tratamentos com sistemas integrados, assim como mais baixos para os sistemas de pousio.

Tabela 2 - Valores médios nos atributos enzimáticos do solo, no período de 2020 a 2023, antes e depois do cultivo da soja em diferentes sistemas de produção (0 — 0,10m).

Tratamentos	DHA	DHA	ARIL	ARIL	PHOS	PHOS	GLICO	GLICO
	antes	depois	antes	depois	antes	depois	antes	depois
	(ug de TTF/ g solo)		(mg PNP kg solo h <sup>-1</sup> )		(mg PNP kg <sup>-1</sup> solo h <sup>-1</sup> )		(mg PNP kg <sup>-1</sup> solo h <sup>-1</sup> )	
Pousio CV	4,3 ab	5,4 b	78,2 c	38,3 c	222,5 d	219,6 d	180,9 b	92,5 c
Pousio PD	3,5 b	6,7 ab	89,3 b	54,0 b	244,9 c	242,4 c	171,8 b	122,0 b
<i>Ruziziensis</i>	5,1 a	7,5 a	108,9 a	73,5 a	270,8 a	310,3 a	219,4 a	163,5 a
<i>Brizantha</i>	4,7 b	7,0 ab	114,5 a	82,5 a	255,8 b	300,2 b	220,0 a	157,3 a
<b>Média</b>	<b>4,4</b>	<b>6,6</b>	<b>97,8</b>	<b>62,1</b>	<b>248,5</b>	<b>268,1</b>	<b>198,1</b>	<b>133,8</b>

Fonte: A autora

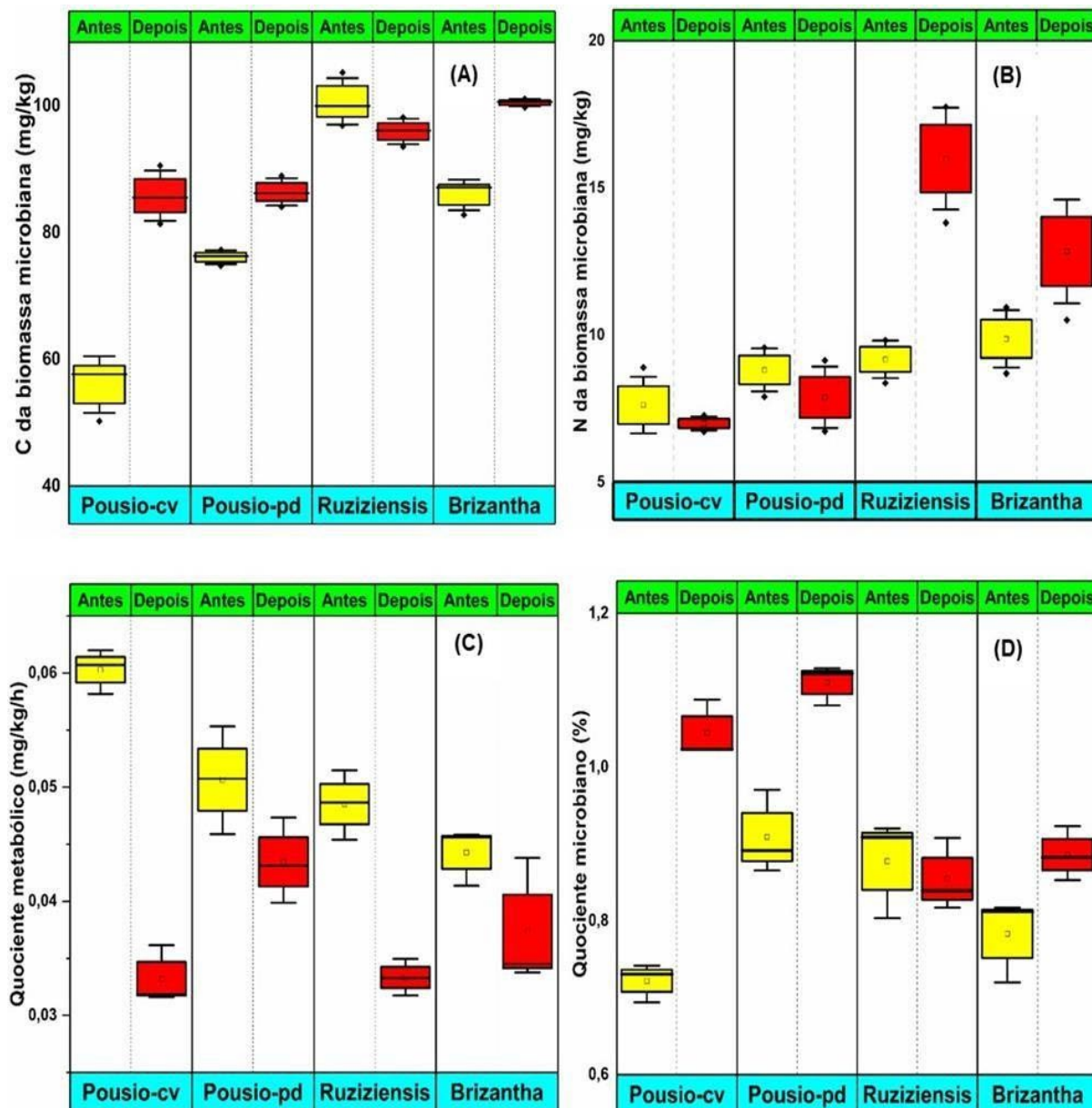


Letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos. DHA: Enzima desidrogenase; ARIL: Enzima arilsulfatase; PHOS: Enzima fosfatase ácida; GLICO: Enzima glicosidase.

Avaliando-se a contribuição dos cultivos, tomando como referência o antes e depois da soja, durante os três anos de estudo, verificou-se comportamento diferenciados dentro dos atributos microbianos do solo. No atributo C microbiano observou ganhos na maioria dos tratamentos após a soja (Figura 5A), mas no atributo N microbiano verificou-se ganhos apenas nos tratamentos integrados com capim (Figura 5B). Outro ponto interessante é na avaliação do quociente metabólico onde ocorre decréscimo nesse valor após a soja em todos os tratamentos (Figura 5C). Entretanto não ocorre ganho no quociente microbiano dentro dos tratamentos integrados antes e depois da soja (Figura 5D).

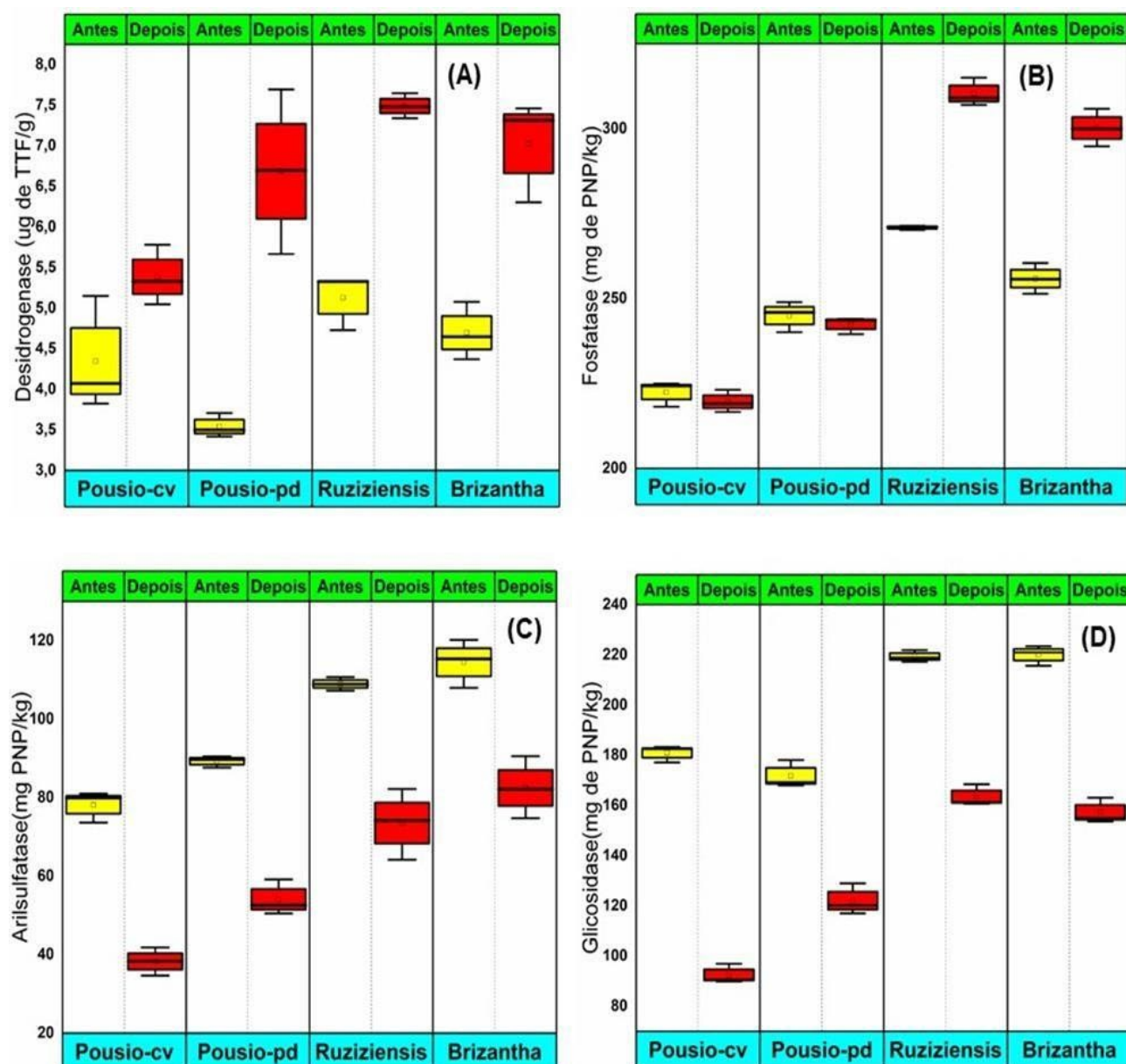
A avaliação de antes e depois, durante três anos de estudo, observa-se que a atividade da desidrogenase teve ganhos depois da soja (Figura 6A), assim como na fosfatase, com destaque aos tratamentos integrados com capim (Figura 6B), o desempenho das atividades das enzimas arilsulfatase (Figura 6C) e glicosidade (Figura 6D), apresentaram forte influência nos períodos de avaliações antes da soja revelando maior influência das pastagens na sua expressão.

Figura 5 - Efeito dos diferentes tratamentos conduzidos sobre a atividade microbiana no solo antes e depois do cultivo da soja. Média de três anos. Caiuá-SP



Fonte:A autora

Figura 6 - Efeito dos diferentes tratamentos conduzidos sobre a atividade enzimática no solo antes e depois do cultivo da soja. Média de três anos. Caiuá-SP

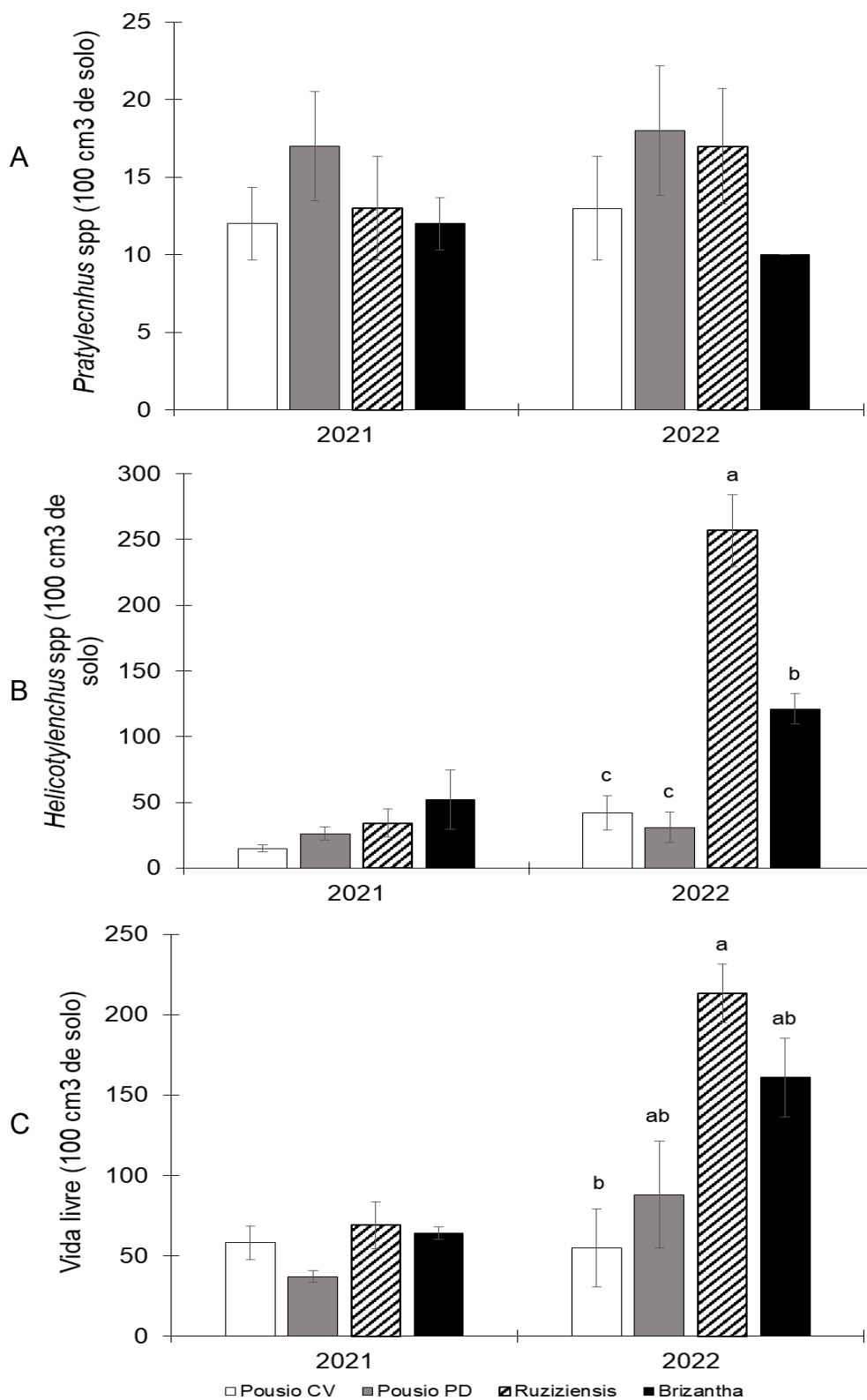


Fonte:A autora

Na avaliação dos nematoides no solo, antes da soja (Figura 7), foi observado um maior número de *Helicotylenchus* spp., nos anos de 2020 e 2022 nas áreas com *Urochloa brizantha* e *Urochloa ruziziensis*, respectivamente (Figura 7B). Os nematoides não fitoparasitas (VL), antes do plantio da soja apresentaram-se apenas em 2022 com superioridade significativa no tratamento com a *Urochloa ruziziensis* comparando-se com a soja em sistema convencional (Figura 7C).

Na avaliação de nematoides encontrados na raiz da soja, destaca-se que *Pratylenchus* spp. (Figura 8A) apresentou maior número de indivíduos, nos tratamentos com *Urochloa ruziziensis* nos dois últimos anos avaliados, apesar de valores reduzidos em relação ao encontrado em 2020 (Figura 8A). No tocante aos nematoides encontrados no solo durante o cultivo do solo, verificou-se em 2022 maior presença dos fitonematoides avaliados no sistema com *Urochloa brizantha* (Figura 9A e B). Por outro lado, em 2023 ocorreu maior ocorrência de nematoides não fitoparasitas (VL) nos tratamentos com ILP. Em anexo se encontra os resultados dos atributos respiração basal do solo e atividade da enzima FDA (Figura 14), assim como seus valores médios antes e depois da soja (Tabela 6).

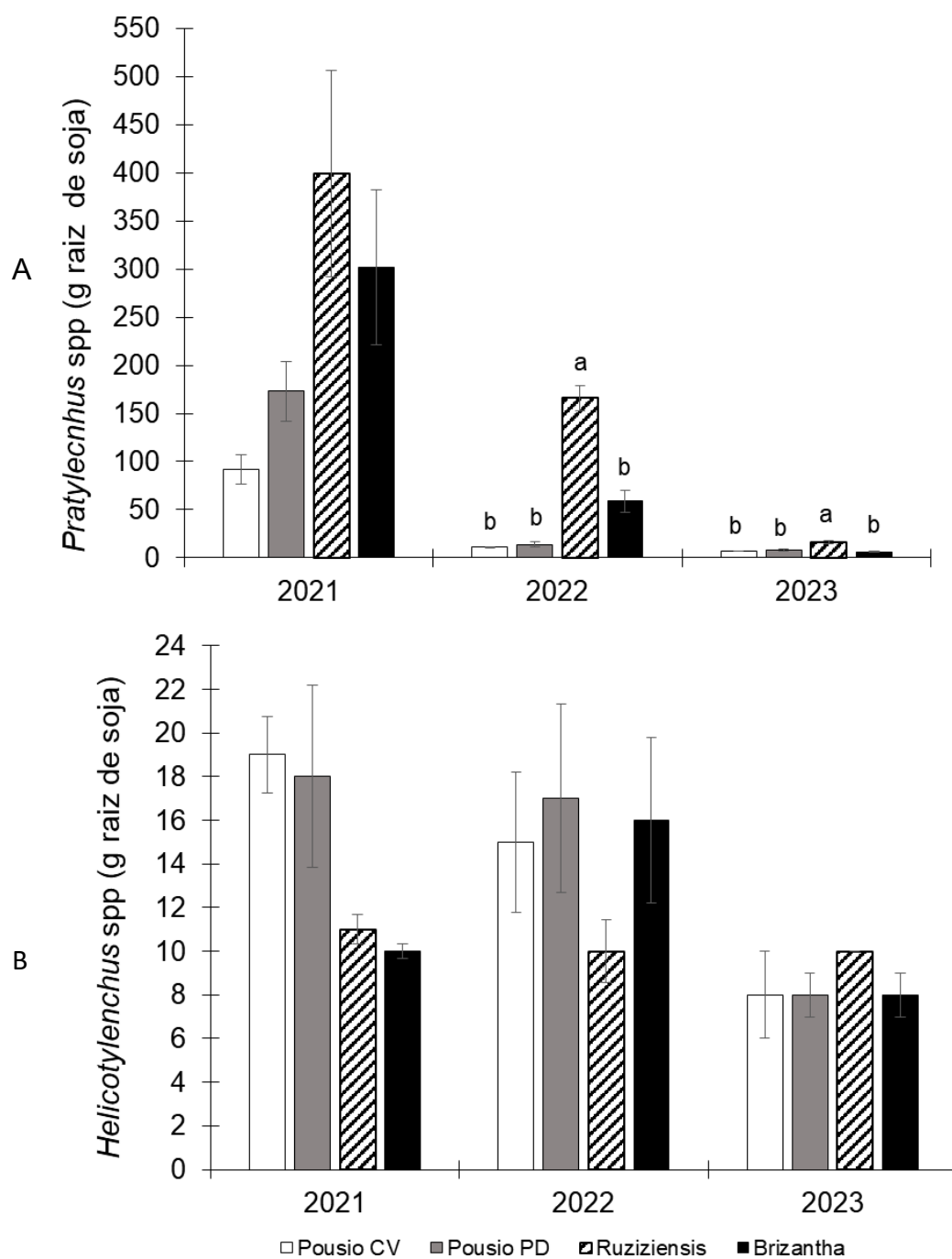
Figura 7 - Nematoides no solo antes do plantio da soja, nos respectivos anos de avaliação (0 — 0,20m), Caiuá — SP.



Fonte: A autora

Valores médios de nematoides no solo nos respectivos anos de avaliação. As barras indicam o erro padrão da média. As letras indicam a diferença entre os sistemas de cultivo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

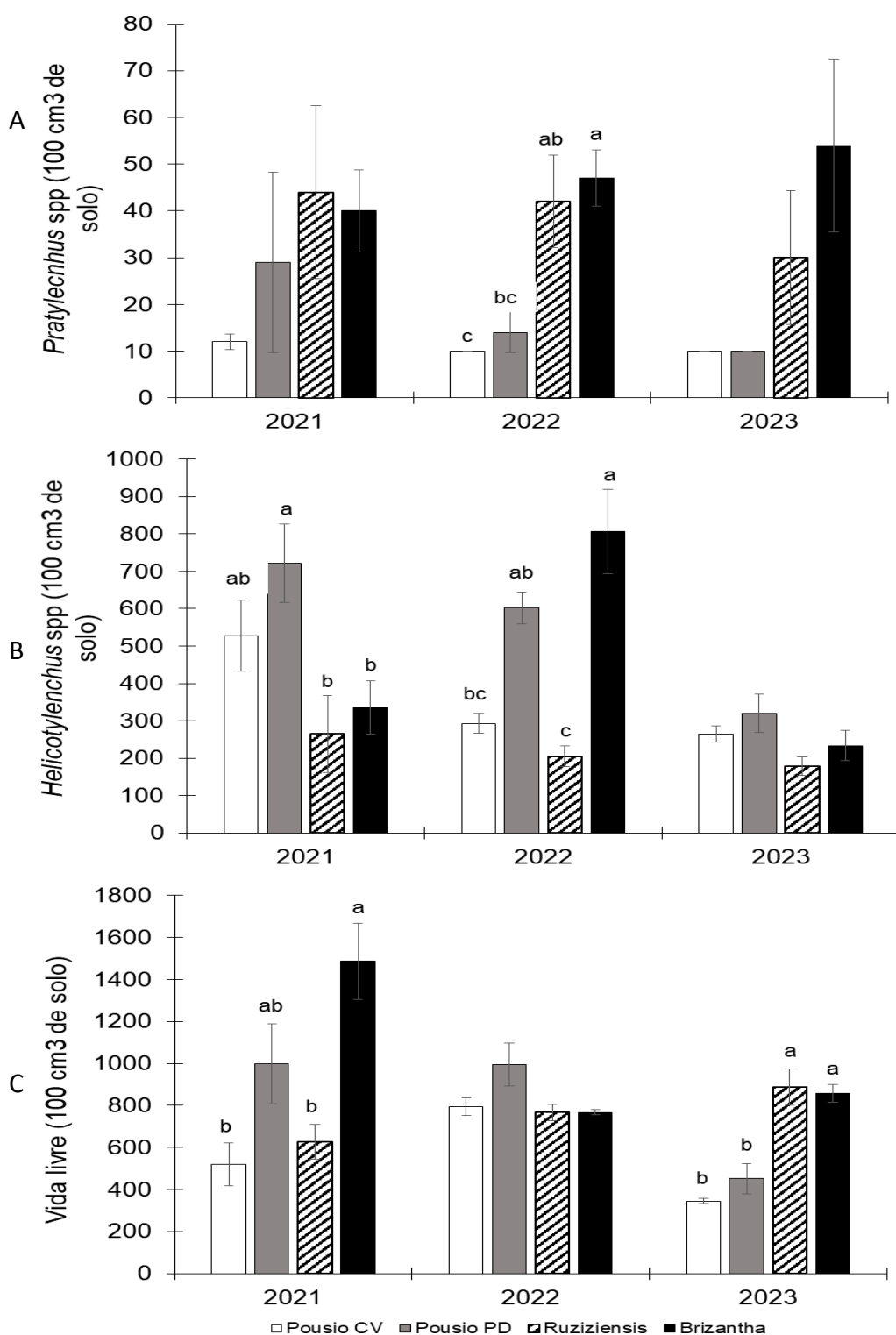
Figura 8 - Nematoides na raiz da soja, nos respectivos anos de avaliação, Caiuá — SP.



Fonte:A autora

Valores médios de fitonematoides na raiz da soja nos respectivos anos de avaliação. As barras indicam o erro padrão da média. As letras indicam a diferença entre os sistemas de cultivo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Figura 9 - Nematóides no solo durante o cultivo da soja, nos respectivos anos de avaliação (0 — 0,20m), Caiuá — SP.



Fonte: A autora

Valores médios de nematoides no solo nos respectivos anos de avaliação. As barras indicam o erro padrão da média. As letras indicam a diferença entre os sistemas de cultivo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A análise de variância dos atributos de fertilidade do solo (Tabela 3), avaliados depois da colheita da soja, mostrou diferenças significativas entre os tratamentos nos períodos de avaliação. Em 2020 os valores de F foram significativos na soma de bases (SB) e saturação de bases (V%), em 2021 foi para matéria orgânica (MOS) e acidez potencial (H+Al), já 2022 dentro do período de avaliação foi o ano que apresentou mais atributos do solo com diferenças entre os tratamentos, como: MOS, cálcio (Ca), SB, capacidade de troca catiônica (CTC) e V%, em 2023 apenas encontrou-se diferença significativa no atributo do fósforo solúvel no solo (P- resina)



Tabela 3 - Análise de variância com valores médios obtidos pelo teste F dos atributos químicos do solo para avaliação da fertilidade do solo (0,00 – 0,20m), Caiuá — SP.

2020										
FV	pH	MOS	P-resina	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
	(CaCl <sub>2</sub> )	(g/dm <sup>3</sup> )	(mg/dm <sup>3</sup> )	(mmolc/dm <sup>3</sup> )						(%)
Tratamento	2,44 <sup>ns</sup>	1,47 <sup>ns</sup>	9,69*	2,48 <sup>ns</sup>	4 <sup>ns</sup>	1,67 <sup>ns</sup>	3,63 <sup>ns</sup>	8,69*	0,5 <sup>ns</sup>	6,3*
Bloco	7,51 <sup>ns</sup>	7,99 <sup>ns</sup>	5,76 <sup>ns</sup>	22 <sup>ns</sup>	6,3 <sup>ns</sup>	0,80 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,4 <sup>ns</sup>	2,5 <sup>ns</sup>
CV (%)	4,0	8,3	13,76	8,3	23,1	16,5	21,1	11,72	26,43	8,3
<b>Média geral</b>	<b>5,2</b>	<b>17,0</b>	<b>25,1</b>	<b>16,8</b>	<b>2,2</b>	<b>10,9</b>	<b>6,3</b>	<b>18,9</b>	<b>34,8</b>	<b>52,6</b>
2021										
FV	pH	MOS	P-resina	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
	(CaCl <sub>2</sub> )	(g/dm <sup>3</sup> )	(mg/dm <sup>3</sup> )	(mmolc/dm <sup>3</sup> )						(%)
Tratamento	1,1 <sup>ns</sup>	5,78*	0,11 <sup>ns</sup>	3,52 <sup>ns</sup>	0,1 <sup>ns</sup>	1,39 <sup>ns</sup>	1,10 <sup>ns</sup>	1,89 <sup>ns</sup>	4,3 <sup>ns</sup>	1,6 <sup>ns</sup>
Bloco	0,86 <sup>ns</sup>	7,72 <sup>ns</sup>	2,44 <sup>ns</sup>	40,48 <sup>ns</sup>	2,7 <sup>ns</sup>	1,49 <sup>ns</sup>	3,04 <sup>ns</sup>	2,39 <sup>ns</sup>	13 <sup>ns</sup>	1,9 <sup>ns</sup>
CV (%)	3,9	7,8	12,5	7,7	29,6	12,9	18,9	15,3	5,9	4,5
<b>Média geral</b>	<b>5,3</b>	<b>14,7</b>	<b>50,6</b>	<b>18,1</b>	<b>2,6</b>	<b>21,2</b>	<b>10,3</b>	<b>32,3</b>	<b>52,5</b>	<b>61,4</b>
2022										
FV	pH	MOS	P-resina	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
	(CaCl <sub>2</sub> )	(g/dm <sup>3</sup> )	(mg/dm <sup>3</sup> )	(mmolc/dm <sup>3</sup> )						(%)
Tratamento	3,79 <sup>ns</sup>	8,99*	2,35 <sup>ns</sup>	1,16 <sup>ns</sup>	2,2 <sup>ns</sup>	8,75*	3,31 <sup>ns</sup>	7,35*	6,96*	6,62*
Bloco	13,4 <sup>ns</sup>	4,13 <sup>ns</sup>	5,37 <sup>ns</sup>	17,76 <sup>ns</sup>	4,2 <sup>ns</sup>	9,89 <sup>ns</sup>	2,63 <sup>ns</sup>	10,1 <sup>ns</sup>	14 <sup>ns</sup>	3,3 <sup>ns</sup>
CV (%)	1,9	10,4	9,8	7,4	14,4	14,8	22,9	11,8	8,5	4,9
<b>Média geral</b>	<b>5,6</b>	<b>16,2</b>	<b>40,8</b>	<b>13,8</b>	<b>2,6</b>	<b>14,9</b>	<b>10,5</b>	<b>25,3</b>	<b>38,5</b>	<b>65,2</b>
2023										
FV	pH	MOS	P-resina	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
	(CaCl <sub>2</sub> )	(g/dm <sup>3</sup> )	(mg/dm <sup>3</sup> )	(mmolc/dm <sup>3</sup> )						(%)
Tratamento	0,24 <sup>ns</sup>	4,45 <sup>ns</sup>	10,89*	0,29 <sup>ns</sup>	2,2 <sup>ns</sup>	1,43 <sup>ns</sup>	1,62 <sup>ns</sup>	2,32 <sup>ns</sup>	3,8 <sup>ns</sup>	0,4 <sup>ns</sup>
Bloco	2 <sup>ns</sup>	7,19 <sup>ns</sup>	7,46 <sup>ns</sup>	2,64 <sup>ns</sup>	4,2 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	1,3 <sup>ns</sup>	0,7 <sup>ns</sup>
CV (%)	5,3	8,6	7,7	12,7	15,4	18,9	33,7	19,77	11,2	11,1
<b>Média geral</b>	<b>5,6</b>	<b>14,2</b>	<b>40,3</b>	<b>16,1</b>	<b>2,4</b>	<b>16</b>	<b>10,2</b>	<b>27,3</b>	<b>44,1</b>	<b>62,9</b>

Fonte: A autora

\* Significativo ao teste de Tukey a 5% de probabilidade. (ns) Não significativo ao teste de Tukey. pH: Potencial hidrogeniônico; MOS: Matéria orgânica do solo; P-resina: Fósforo H+Al; Acidez potencial; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de troca catiônica; V: Saturação de bases.

De acordo com a diferenças significativas entre os tratamentos, os valores médios dos atributos (Tabela 4 e 5), o comportamento dos atributos de fertilidade do solo que apresentaram diferenças, os tratamentos com sistemas conservacionista Pousio PD, Ruzizensis e Brizantha, se destacaram, quando comparado ao sistema com revolvimento do solo SPCV. Enfatizando-se uma diferença mais destacada quanto ao aumento do teor de matéria orgânica do solo em três avaliações consecutivas (2020 a 2022).

Tabela 4 - Valores significativos dos atributos químicos do solo para avaliação da fertilidade do solo (0 — 0,20m) em 2020 e 2021, Caiuá — SP.

2020				2021
Tratamento	P-resina (mg/dm <sup>3</sup> )	SB (mmolc/dm <sup>3</sup> )	V (%)	MOS (g/dm <sup>3</sup> )
Pousio CV	27ab	15b	45b	13b
Pousio PD	33a	17b	50ab	14ab
<i>Ruzizensis</i>	19b	20ab	55ab	16a
<i>Brizantha</i>	22b	24a	60a	15ab

Fonte:A autora

Letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos, dentro de cada ano avaliado. MOS: Matéria orgânica do solo; P-resina: Fósforo; SB: Soma de bases; V: Saturação de bases.

Tabela 5 - Valores significativos dos atributos químicos do solo para avaliação da fertilidade do solo (0 — 0,20m) em 2022 e 2023, Caiuá — SP.

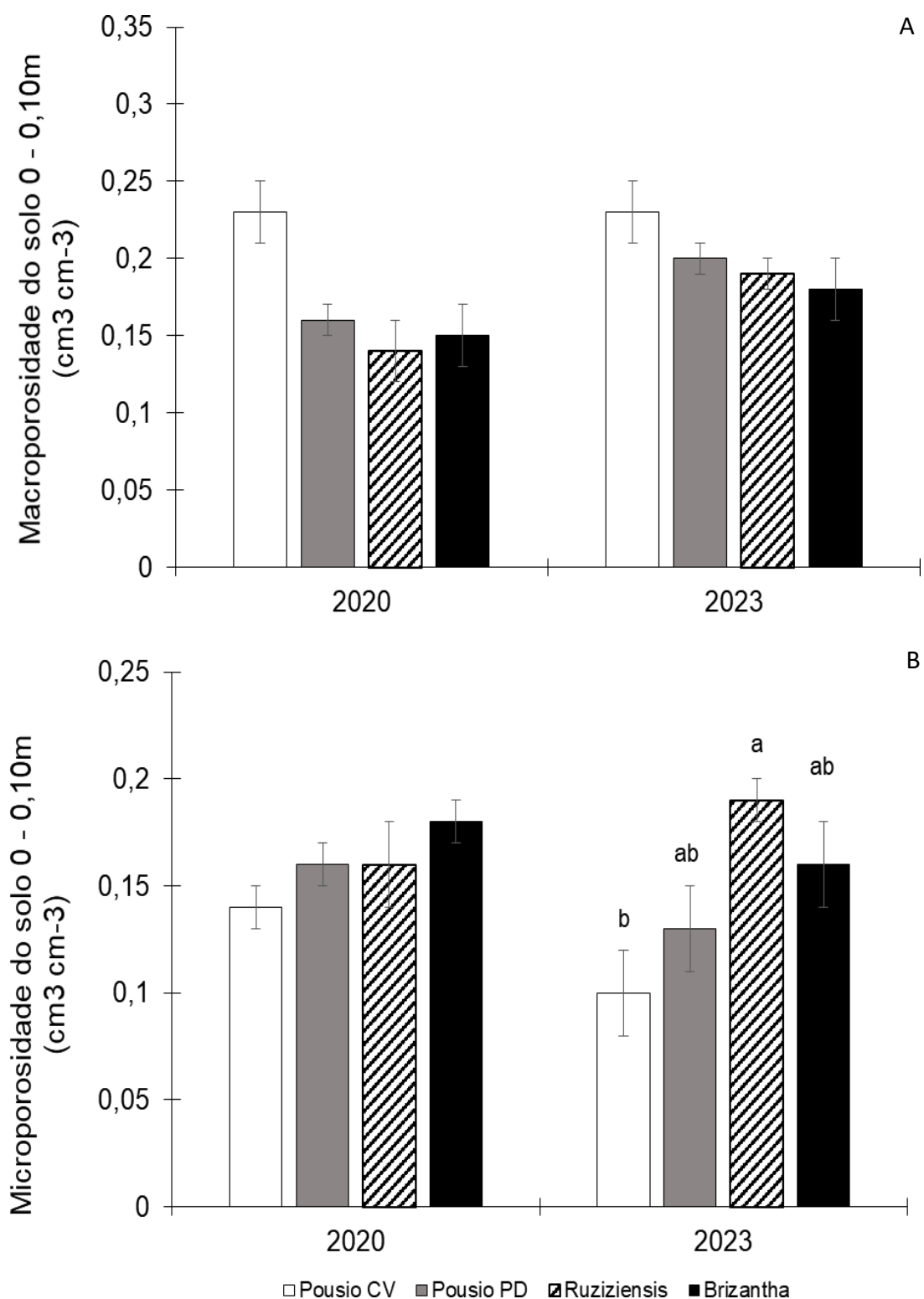
2022						2023
Tratamento	MOS (g/dm <sup>3</sup> )	Ca	SB	CTC	V (%)	P-resina (mg/dm <sup>3</sup> )
		(mmolc/dm <sup>3</sup> )				
Pousio CV	13b	10b	19b	32b	58b	38b
Pousio PD	14ab	13ab	25ab	38ab	66ab	49a
<i>Ruzizensis</i>	19a	18a	29a	43a	67ab	35b
<i>Brizantha</i>	19a	18a	29a	41a	69a	40b

Fonte:A autora

Letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos, dentro de cada ano avaliado. MOS: Matéria orgânica do solo; P-resina: Fósforo; Ca: Cálcio; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de troca catiônica; V: Saturação de bases.

A macroporosidade (Figura 10 A), evidenciou um aumento de 2020 para 2023, nos tratamentos Pousio PD, Ruzizensis e Brizantha, já a microporosidade (Figura 10 B), destacou diferença entre os tratamentos em 2023, com maior valor no tratamento Ruzizensis. A porosidade total (Figura 11 A), demonstrou diferença entre os tratamentos em 2020, com aumento de valores na avaliação de 2023. A densidade do solo (Figura 11 B), apresentou diferença entre os tratamentos nos dois anos avaliados, em 2020 com destaque nos tratamentos com capim e 2023 nos tratamentos Pousio PD e Brizantha.

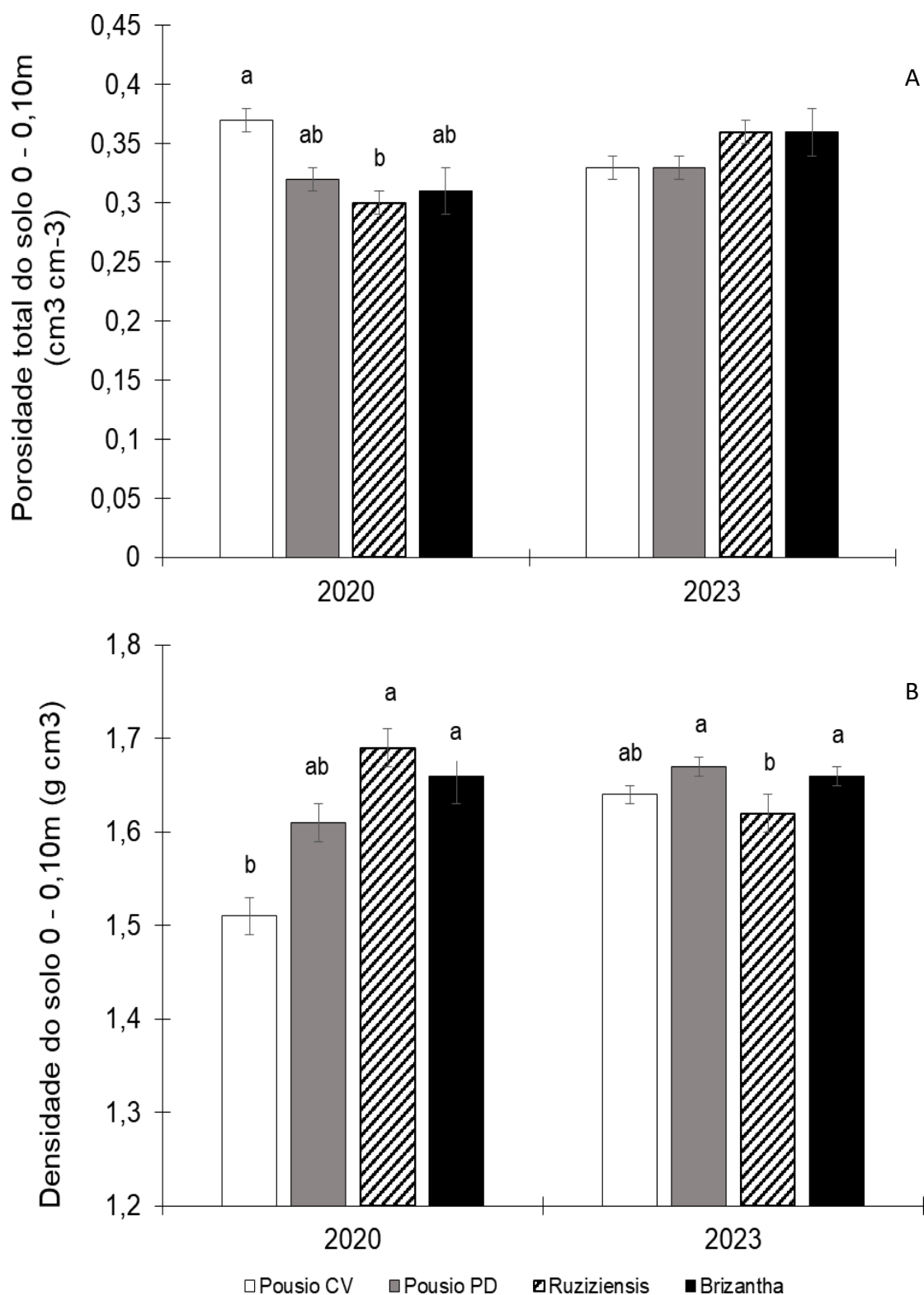
Figura 10 - Atributos físicos do solo, nos respectivos anos de avaliação (0 – 0,20m), Caiuá — SP.



Fonte: A autora

Valores médios dos atributos físicos do solo, nos respectivos anos de avaliação. As barras indicam o erro padrão da média. As letras indicam as diferenças entre os sistemas de cultivo.

Figura 11 - Atributos físicos do solo, nos respectivos anos de avaliação (0 - 0,20m), Caiuá — SP.

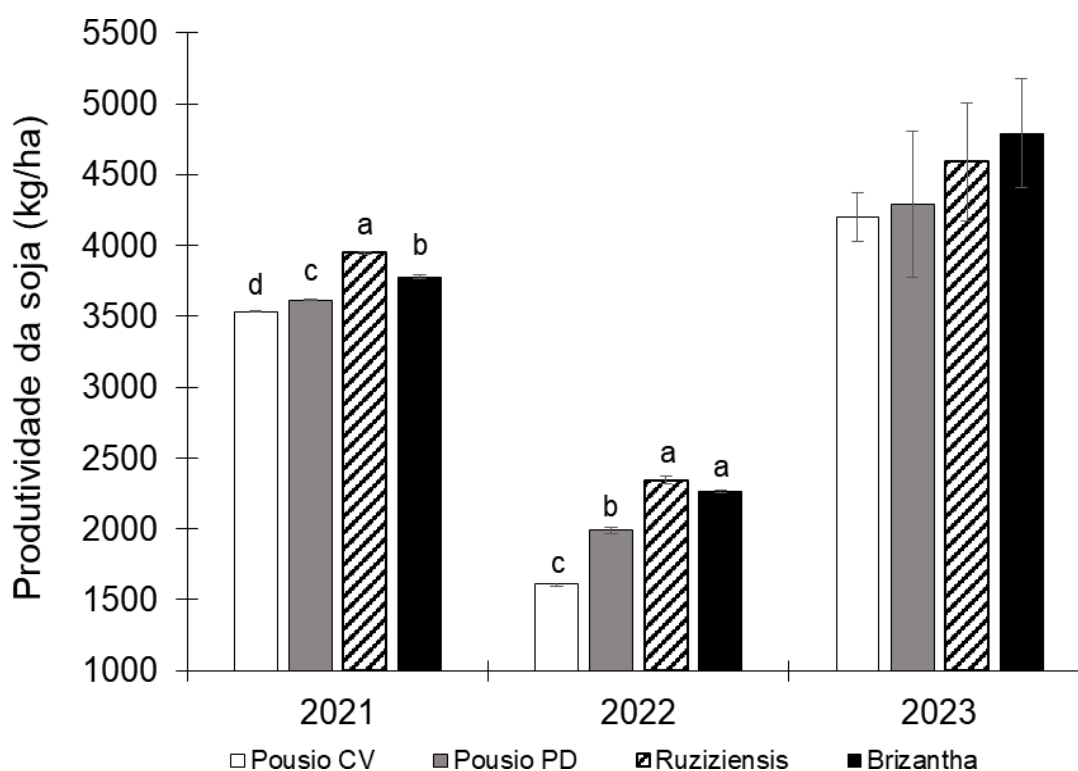


Fonte: A autora

Valores médios dos atributos físicos do solo, nos respectivos anos de avaliação. As barras indicam o erro padrão da média. As letras indicam as diferenças entre os sistemas de cultivo.

O rendimento da soja (Figura 12), apresentou diferença entre os tratamentos nos anos de 2021 e 2022, ambos com destaque para maior produtividade aos tratamentos com sistema de integração tanto com *Urochloa ruziziensis* quanto como *Urochloa brizantha*, em 2023 evidenciou os maiores níveis de rendimento mas sem diferenças significativas.

Figura 12 - Produtividade da soja, nos respectivos anos de avaliação, Caiuá — SP.



Fonte: A autora

Valores médios da produtividade da soja nos respectivos anos de avaliação. As barras indicam o erro padrão da média. As letras indicam a diferença entre os sistemas de cultivo pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

A análise de componentes principais (ACP) foi usada para reduzir as dimensões das variáveis originais sem perda de informação. Os dois primeiros componentes principais (CP) explicaram 70,3 % da variação total dos dados (Figura 13), podendo ser considerado como significativo para o estudo, pois de acordo com Rencher (2002), pelo menos 70% da variância total devem ser explicadas pelos primeiros e o segundo componentes principais.

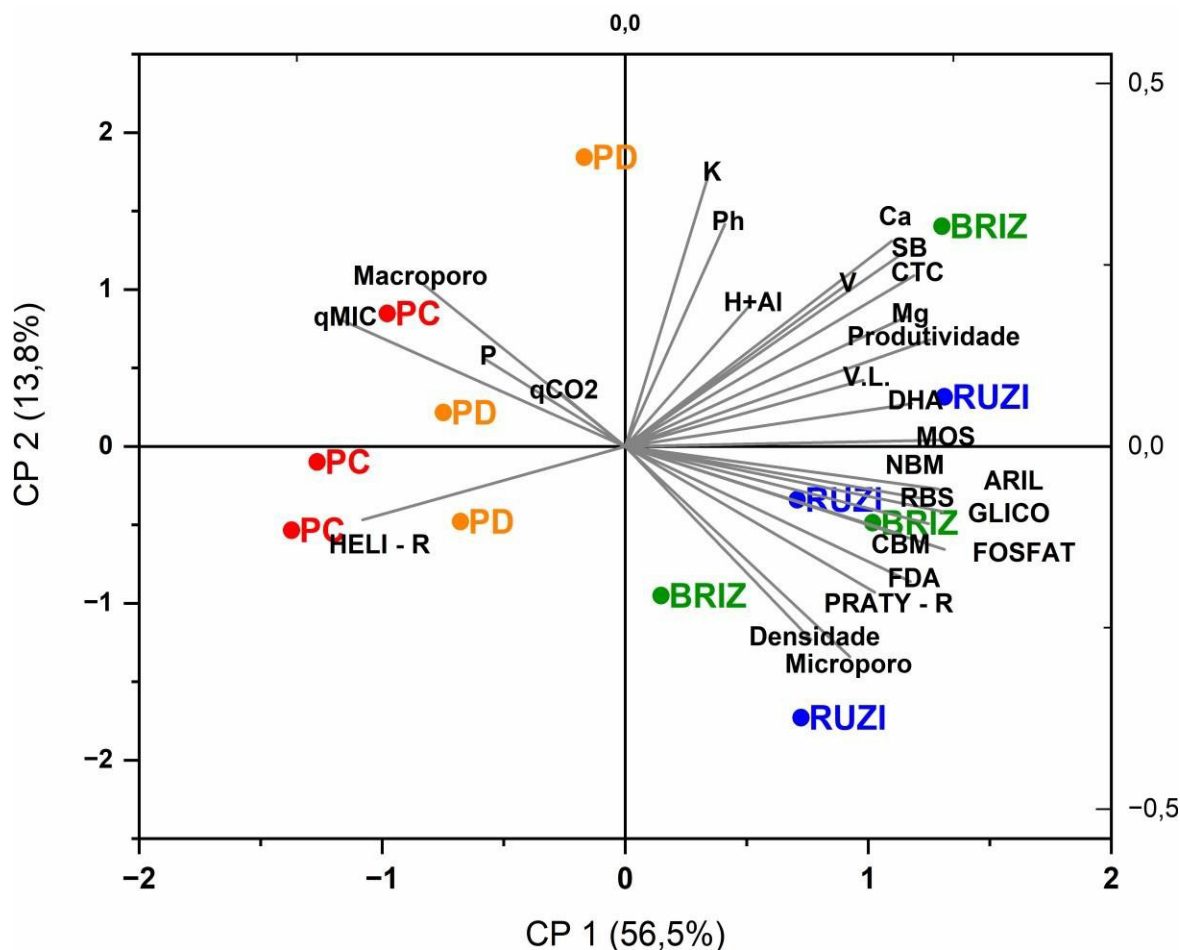
Para seleção das variáveis em cada componente adotou-se o critério do maior autovalor e das variáveis que situaram com autovalor até 10% inferior a maior

(Andrews *et al.*, 2002), neste sentido no CP1 destacaram-se todas as variáveis de atividade enzimática do solo, juntamente com a respiração basal, N da biomassa microbiana, CTC, matéria orgânica do solo e a produtividade. Verificou-se pela matriz de correlação e ângulos formados que essas variáveis apresentam alta correlação entre elas o que pode auxiliar na redução de variáveis dentro desse componente. No CP2 destacou-se as variáveis químicas de pH, potássio e cálcio no solo e também a variável física de microporos. A variável cálcio (Ca) apresenta correlação e ângulos agudos com as outras variáveis desse componente, entretanto o potássio (K), pH e microporos não estão correlacionadas e podem ser selecionadas para representar esse componente.

De acordo com os objetivos da ACP pode-se reduzir as variáveis que explicam 70,3% da variância desse estudo, utilizando-se apenas a atividade da fosfatase que apresentou o maior autovalor e correlação com as outras variáveis no CP1 e as variáveis K, pH e microporos como representantes do CP 2, ou seja quatro variáveis poderiam ser utilizadas. No tocante aos nematoides pode ser destacado a variável de incidência de *Helicotylenchus* que apresentou auto valor próximo as selecionadas, mas foi uma das únicas que se destacou no eixo negativo do do CP 1 com ângulo acima de 90 graus da maioria das outras variáveis, então pode ser considerada como útil explicar a variância do estudo. No caso do *Pratylenchus* observou-se que a incidência do mesmo correlacionou com a maioria das variáveis.

Analisando-se o biplot formado pela ACP pode ser afirmado que os sistemas de pousio apresentaram os menores valores nos quesitos destacados no componente enquanto que os sistema integrados apresentaram os maiores valores nas variáveis destacadas nessa análise.

Figura 13 - Análise de componentes principais (biplot) das variáveis utilizadas no estudo em cada tratamento conduzido.



Fonte:A autora

## Discussão

Os atributos microbiológicos avaliados antes e depois da soja foram influenciados pela presença da leguminosa ou capim no sistema como também pelas condições climáticas no período. Verificou-se na avaliação da biomassa microbiana no solo ao longo do estudo que os sistemas integrados com soja e capim proporcionaram aumentos médios da biomassa microbiana no solo de forma mais pronunciada nas avaliações após o cultivo da soja. Estudo realizado por Laroca *et al.*, (2018), avaliando-se a qualidade do solo e sua relação com a produtividade da soja em sistemas pastagem, apresentou resultados que corroboram com o que foi identificado no presente estudo, com elevados valores dos atributos microbianos. Os consórcios com leguminosas proporcionaram aumento de C e N da biomassa microbiana, enquanto os cultivos solteiros não tiveram esse efeito. Também destacou



que a qualidade do solo é elevada em consórcios entre gramíneas e leguminosas, com efeitos positivos sobre a produtividade da soja.

O quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>), em função do tempo, apresentou maiores valores ao longo do período de avaliação nos sistemas de pousio com revolvimento do solo antes da soja, quando comparados com os sistemas de integração, destacando que em sistemas de manejo deficiente pode levar a condições estressantes, onde a comunidade microbiana pode oxidar carbono de suas próprias células para sua manutenção no solo, evidenciando condições adversas ou estressantes (Alves *et al.*, 2011). Por outro lado, o quociente microbiano foi encontrado em valores próximos a 1% nas médias encontrados nos tratamentos ao longo do estudo, revelando-se ainda como desafio para se melhorar esse indicador em manejo de solos arenosos. Destaca-se que valores inferiores a 1% revelam que existe algum fator limitante à atividade da biomassa microbiana (Jakelaitis *et al.*, 2008).

A atividade enzimática do solo apresentou resposta positiva ao manejo de integração da soja ao capim. Na média, dentro dos três anos avaliados, os valores dessas atividades bioquímicas mostraram-se com de superioridade significativa aos tratamentos apenas com pousio. O manejo do solo e o clima, influenciam diretamente na atividade enzimática do solo, podendo ser entendida por meio das relações dos atributos do solo com os fatores bióticos e abióticos (Barbosa *et al.*, 2023). O revolvimento do solo, acelera a mineralização da matéria orgânica do solo (MOS), podendo causar degradação mais acelerada desse atributo no solo. Em contraste, sistemas de manejo mais conservacionistas potencializam a magnitude dos fluxos de energia e matéria, em períodos mais longos de tempo, decorrentes das relações entre partículas minerais, compostos orgânicos, plantas, raízes e organismos presentes (Didoné *et al.*, 2019; Anghinoni; Vazzani, 2021; Thomaz; Antoneli, 2022).

Manejo de solos que proporcionaram maior produtividade agrícola, também evidenciaram maior atividade enzimática, com destaque para a arilsulfatase e glicosidade, mostrando que a atividade enzimática têm demonstrado ser um indicador versátil para elucidar a qualidade do solo (Barbosa *et al.*, 2023). As referidas atividades dessas enzimas também apresentaram superioridade nos manejos integrados conduzidos nesse estudo, reforçando a tese que podem ser usadas como indicadores de qualidade do solo.

Mudanças divergentes na atividade enzimática do solo sugerem a influência de diferentes tipos de manejos e níveis de conservação das pastagens. As atividades da fosfatase ácida, arilsulfatase e glicosidade foram maiores em solos sob os sistemas de integração com as duas espécies de capim, quando comparadas aos sistemas de pousio, no período avaliado, assim como encontrado por Zago *et al.* (2019) e Damian *et al.* (2021).

Tratando-se de experimento de longa duração, iniciado em 2016, onde a sucessão de culturas também contava com o cultivo do milho safrinha até 2020, verificou-se que na primeira avaliação de nematoides no início do estudo apontou maior presença de fitonematoides no solo (dados não publicados), mas com a exclusão do milho a partir de 2021 verificou-se também tendência de redução na incidência de nematoides no sistema. O cultivo do milho safrinha favorece o aumento populacional dos fitonematoides polípagos existentes no solo, que é o caso de *Pratylenchus* spp., ao qual a maioria das plantas cultivadas são suscetíveis, resultando em aumento populacional (Inomoto; Machado; Antedomênico, 2006). Sabe-se que práticas de manejo podem causar impactos negativos ou positivos sobre os fitonematoides, destacando-se os sistemas mais conservacionistas como o plantio direto e a integração lavoura-pecuária, que proporcionam aumento da matéria orgânica como supressores aos fitonematoides (Cavaliere *et al.*, 2004; Debiasi *et al.*, 2016). Dias-Arieira *et al.* (2021), verificaram que o número *Pratylenchus* se correlacionou positivamente com o teor de areia do solo e negativamente com o teor de matéria orgânica do solo, os resultados encontrados nesse estudo mostrou que os tratamentos com integração apresentaram maior teor de matéria orgânica contudo foi encontrado mais *Pratylenchus*, apesar de número reduzido, quando comparado com os tratamentos de pousio. Isso pode ser explicado pelo fato de que em um sistema conservacionista, a soja pode formar uma maior massa de raiz, reduzindo a competição entre os nematoides por sítio de alimentação.

O manejo cultural, quando se refere a suscetibilidade de planta ao nematoide, se faz necessário avaliar o sistema como um todo, visando não apenas o controle de nematoides, mas também a recuperação do solo e o ganho de produtividade. Em estudo realizado por (Dias-Arieira, *et al.*, 2023), apresentou resultados onde o sistema de integração consolidado, implantado a mais de quatro anos, foi encontrado maior número de *Pratylenchus brachyurus* com valores de 3.315 nematoides por 10g de raiz e ao mesmo tempo a maior produtividade da soja atingindo

54,68 sacas por hectare, isso aponta que mesmo com maior presença de fitonematoides no solo, a soja conseguiu ter uma performance em produtividade elevada, possivelmente explicado pelos benefícios que o sistema de integração lavoura-pecuária pode agregar. Esses dados vão de encontro com os resultados encontrados no presente estudo. Pelo análise de componentes principais verificou-se que a incidência de *Pratylenchus* no sistemas integrados correlaciona com a maioria dos atributos biológicos e químicos, entretanto com flutuação de média para baixa densidade durante o estudo isto corrobora com o que foi relatado com Lima et al. (2015) onde em baixa densidade *Pratylenchus* deve ser apenas monitorado sem necessidade de outras formas de controle, pois pode causar poucos danos a soja. Entretanto deve-se ter mais cuidado com *Helicotylenchus* que vem dominando as áreas com cultivo de soja (Machado et al., 2019), pois tem sido favorecido pela cultura quando essa passa por condições mais estressantes, verificou-se em nosso estudo que essa esse gênero correlacionou com maior intensidade nas áreas de soja apenas com pousio.

Na última avaliação de nematoides no solo verificou-se um aumento da ordem de 100% na presença de nematoides não fitoparasitas (VL), nos sistemas com integração, comparando-se ao pousio. A diversidade de nematoides, encontradas dentro do grupo não fitoparasitas (VL), podem ser associados com a condição ecológica do solo, relacionando-se assim à condição de sustentabilidade da produção agrícola (Moura et al., 2017). Os nematoides não fitoparasitas (VL), proporcionam inúmeros benefícios para o equilíbrio biológico do solo, com potencial de atuarem como agentes de reguladores do equilíbrio da fauna do solo, atuando no controle de pragas de insetos, supressores de nematoides parasitas de plantas, além das funções já exercidas como contribuir na decomposição da matéria orgânica do solo e na ciclagem de nutrientes.

Aumento na abundância de fitonematoides em áreas agrícolas resultam da simplificação das fontes nutricionais básicas no solo, característicos de sistemas convencionais com monocultivos (Ryzkowski; Kdziora 1987). De acordo com os resultados encontrados neste estudo, onde foi identificado um maior número de nematoides não fitoparasitas (VL) no solo quando comparado aos fitoparasitas em questão, evidencia que o sistema de manejo com a integração de cultivos e pastoreio de animais pode diversificar fontes nutricionais no solo contribuindo para maior

diversidade e qualidade do solo, apontando para um equilíbrio do sistema (Li *et al.*, 2023).

A introdução de culturas de cobertura alteram a composição e a estrutura da comunidade de nematoides nas rotações entre culturas de sequeiro e pousio, sendo uma das descobertas do estudo realizado por Garba *et al.*, (2024), onde encontraram que misturas de culturas de cobertura apresentaram maior diversidade e complexidade de nematoides não fitoparasitas (VL), indicando melhor ciclagem de energia e nutrientes, quando comparado com monoculturas. Também foi verificado maior abundância de nematoides parasitas de plantas, promovendo teias alimentares robustas no solo e com interações complexas de nematoides do solo, o que corrobora com os resultados encontrados no presente estudo.

As alterações promovidas pelos sistemas de integração nas propriedades do solo, refletem na quantidade e na qualidade do carbono orgânico. Compreender os processos que influenciam no acúmulo de C nos solos é importante, além de proporcionar uma diversidade e estabilidade de matéria orgânica no contexto geral da integração, com o intuito de minimizar os efeitos das mudanças climáticas, são importantes estratégias para a maior retenção de carbono no solo (Bernardi *et al.*, 2023). Verificou-se nesse estudo que nos tratamentos com integração lavoura-pecuária houve aumento de teor de matéria orgânica no solo.

O uso de forrageiras como as braquiárias, em integração lavoura-pecuária em sistemas de plantio direto, mostrou resultado no incremento na cobertura do solo e melhorias na estrutura do sistema. As raízes das forrageiras, formam uma rede de canais (bioporos), com a função de oferecer condições ideais para o desenvolvimento do sistema radicular da soja subsequente, o que possibilita a percolação da água e de nutrientes para camadas mais profundas, além de contribuir para a microporosidade (reservatório de água) e densidade do solo (Moraes *et al.*, 2016).

Os sistemas de integração lavoura-pecuária, como prática de manejo do solo, diversifica os efeitos sobre as propriedades do solo, que além de benefícios para agricultura, também beneficia o pastoreio animal. Quando a carga animal é realizada de maneira adequada e monitorada, não limita a produtividade das culturas, devido a fitomassa da pastagem que dissipa parte da pressão aplicada ao solo. Estudo realizado por (Debiasi; Franchini, 2012), verificou que atributos como porosidade total e macroporosidade apresentou maiores valores em tratamentos pastejados, com o inverso ocorrendo para a densidade do solo e microporosidade, como também foi

verificado no presente estudo nos tratamentos em pousio, quando comparados aos tratamentos com integração com as espécies de capim estudadas.

O rendimento de grãos e características agrônômicas da soja em função dos sistemas de rotação de culturas, evidenciou que a combinação de sistemas de manejo do solo conservacionista, favorece uma maior produtividade da soja, quando comparado com a soja em monocultura (Santos *et al.*, 2014), contribuindo com os resultados do presente estudo, no qual identificou esse mesmo comportamento, onde os tratamentos com integração com as espécies de pastagens avaliadas, apresentaram maiores valores na produtividade da soja nos anos de avaliação, quando comparados aos sistemas de soja intercalada com pousio.

Pela análise componente principal verificou-se que os atributos microbianos e de fertilidade apresentaram alta correlação com os sistemas de integração lavoura-pecuária, permitindo em algumas situações possa ser apenas feito o monitoramento de alguns atributos ao invés de todos gerando economia de tempo e de recursos em futuros trabalhos que utilizarão essa mesma base de dados, sem perda significativa de informação

## **Conclusões**

Ocorreu ganhos significativos em diferentes atributos biológicos do solo, nos sistemas integrados de soja e capim, enquanto que dentro dos atributos de fertilidade do solo destacou-se o aumento da matéria orgânica do solo.

As atividades enzimáticas da arilsulfatase foram mais incrementadas após o período de cultivo das pastagens.

De forma geral, nos três anos avaliados, ocorreu mais incrementos da atividade biológica no sistema integrado soja ruziziensis.

As áreas com integração, apresentaram maior presença de *Pratylenchus* spp. e maior rendimento de grãos.

O sistema integrado contribui para o aumento dos nematoides não fitoparasitas (VL) no solo.

## Referências bibliográficas

AGRITEMPO. **Sistema de Monitoramento Agrometeorológico**. 2023.

ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 341- 347, 2011. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v33i2.4841>.

ANGHINONI, I.; VEZZANI, F. M. Systemic Soil Fertility as product of system self-organization resulting from management. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, p. 1-18, 2021. <http://dx.doi.org/10.36783/18069657rbcs20210090>.

BAIAMONTE, G.; CRESCIMANNO, G.; PARRINO, F.; PASQUALE, C. Effect of biochar on the physical and structural properties of a sandy soil. **Catena**, v. 175, p. 294-303, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2018.12.019>.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; SANTOS, J. C. F.; DEBIASI, H.; YOKOYAMA, A. H. Contribution of roots and shoots of Brachiaria species to soybean performance in succession. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 8, p. 592-598, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2017000800004>.

BARBOSA, J. Z.; POGGERE, G.; CORRÊA, R. S.; HUNGRIA, M.; MENDES, I. C. Soil enzymatic activity in Brazilian biomes under native vegetation and contrasting cropping and management. **Applied Soil Ecology**, v. 190, p. 105014, 2023. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105014>.

BERNARDI, A. C. C.; TADINI, A. M.; BIELUCZYK, W.; PEZZOPANE, J. R. M.; MACHADO, P. L. O. A.; MADARI, B. E.; NETO, L. M. Manejo conservacionista da matéria orgânica do solo: sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. *In*: BETTIOL, W.; SILVA, C. A.; CERRI, C. E. P.; MARTIN NETO, L.; ANDRADE, C. A. (ed.). **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. Brasília, Embrapa, 2023, p. 596-600. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1154930>.

CAVALIERI, K. M. V.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; JUNIOR, I. G. S. Alterações nas propriedades químicas de um Latossolo Vermelho eutroférico por dois sistemas de manejo de solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 26, n. 4, p. 377-385, 2004.

CHEIN, W.; HOITINK, H. A. J.; MADDEN, L. V. Microbial activity and biomass in container media for predicting suppressiveness to damping-off caused by *Pythium ultimum*. **Phytopathology**, v. 78, p. 1447-1450, 1988.

COOLEN, W. A.; D'HERDE, C. J. A. Method for the Quantitative Extraction of Nematodes from Plant Tissue. **State Nematology and Entomology Research Station**, 1972, 77p.

CONTE, O.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Manejo do solo. *In*: SEIXAS, C. D. S. (ed.). **Tecnologias de Produção de Soja**. 17. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2020. Cap. 14, p. 347.

DAMIAN, J. M.; MATOS, E. S.; PEDREIRA, B. C.; CARVALHO, P. C. F.; SOUZA, A. J.; ANDREOTE, F. D.; PREMAZZI, L. M.; CERRI, C. E. P. Pastureland intensification and diversification in Brazil mediate soil bacterial community structure changes and soil C accumulation. **Applied Soil Ecology**, v. 160, p. 103858, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103858>.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; CONTE, O. Diversificação de espécies vegetais em sistemas de produção. *In*: SEIXAS, C. D. S. (ed.). **Tecnologias de Produção de Soja**. 17. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2020. Cap. 14, p. 347.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; DIAS, W. P.; RAMOS JUNIOR, E. U.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Práticas culturais na entressafra da soja para o controle de *Pratylenchus brachyurus*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 10, p. 1720-1728, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016001000003>.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Atributos físicos do solo e produtividade da soja em sistema de integração lavoura-pecuária com braquiária e soja. **Ciência Rural**, v. 42, n. 7, p. 1180-1186, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782012000700007>.

DIAS-ARIEIRA, C. R.; MIAMOTO, A.; MACHADO, A. C. Z.; SILVA, R. A.; ARAUJO, F. G. Manejo cultural de nematoides. *In*: DIAS-ARIEIRA, C. R.; ARAÚJO, F. G.; MACHADO, A. C. Z. (Org.). **Manejo de Nematoides em Grandes Culturas**. 1. ed. Piracicaba: NPCT, 2023, v. 1, p. 191-225.

DIAS-ARIEIRA, C. R.; CECCATO, F. J.; MARINELLI, E. Z.; VECCHI, J. L. B.; ARIEIRA, G. O.; SANTANA-GOMES, S. M. Correlations between nematode numbers, chemical and physical soil properties, and soybean yield under different cropping systems. **Rhizosphere**, v. 19, p. 100386, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100386>.

DIDONÉ, E. J.; MINELLA, J. P. G.; SCHNEIDER, F. J. A.; LONDERO, A. L.; LEFÈVRE, I.; EVRARD, O. Quantifying the impact of no-tillage on soil redistribution in a cultivated catchment of Southern Brazil (1964–2016) with <sup>137</sup>Cs inventory measurements. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 284, p. 106588, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2019.106588>.

EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D. B.; BARBOSA, R. A.; VALLE, C. B.; NANTES, N. N. Animal performance and sward characteristics of two cultivars of *Brachiaria brizantha* (BRS Paiaguás and BRS Piatã). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, p. 85-92, 2016. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902016000300001>

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de**

**Ciência do Solo**, v.23, n.4, p.991-996, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000400026>.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H. CONTE, O. Desempenho da soja em consequência de manejo de pastagem, época de dessecação e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.50, n.12, p.1131-1138, 2015. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015001200002>

GARBA, I. I.; STIRLING, G. R.; STIRLING, A. M; WILLIAMS, A. Cover crop functional types alter soil nematode community composition and structure in dryland crop-fallow rotations. **Applied Soil Ecology**, v. 194, p. 105196, 2024. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105196>.

GRAHMANN, K.; DELLEPIANE, V. R.; TERRA, J. A.; QUINCKE, J. A. Long-term observations in contrasting crop-pasture rotations over half a century: statistical analysis of chemical soil properties and implications for soil sampling frequency. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 287, p. 106710- 106721, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2019.106710>.

INOMOTO, M. M.; MACHADO, A. C. Z.; ANTEDOMÊNICO, S. R. Reação de *Brachiaria* spp. e *Panicum maximum* a *Pratylenchus brachyurus*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, p. 341–344, 2007. <https://doi.org/10.1590/S010041582007000400009>

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A. da; SANTOS, J. B. dos; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 2, p. 118–127, 2008.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, v. 48, n. 9, p. 692, 1964.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolismo in soil-I. Fumigation with chloroform. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, n. 3, p. 167-177, 1976. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(76\)90001-8](https://doi.org/10.1016/0038-0717(76)90001-8).

LAROCA, J. V. S.; SOUZA, J. M. A.; PIRES, G. C.; PIRES, G. J. C.; PACHECO, L. P.; SILVA, F. D.; WRUCK, F. J.; CARNEIRO, M. A. C.; SILVA, L. S.; SOUZA, E. D. Soil quality and soybean productivity in crop-livestock integrated system in no-tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 11, p. 1248-1258, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2018001100007>.

LI, G.; LIU, T.; WHALEN, J. K.; WEI, Z. Nematodes: an overlooked tiny engineer of plant health. **Trends In Plant Science**, v. 29, n. 1, p. 52-63, 2024. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2023.06.022>.



MACHADO, A. Nematóide: a praga que custa R\$ 35 bilhões ao agronegócio brasileiro. Piracicaba: ADEALQ, 2019.

MORAES, M. T.; DEBIASI, H. FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. Benefícios das plantas de cobertura sobre as propriedades físicas do solo. *In*: TIECHER, T. (org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil**: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2016, p. 34-48.

MOURA, G. S.; PIETROBELLI, S. R.; OLIVEIRA, I. M. R de; OLIVEIRA, I. J de; FRANZENER, G. Óleo essencial de pitangueira na germinação e sanidade de sementes de variedades crioulas de feijoeiro. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 7, n. 3, p. 48-55, 2017. <http://dx.doi.org/10.21206/rbas.v7i3.422>.

MOTT, G.O.; LUCAS, H.L. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. *In*: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESSES, 6., 1952, State College. Proceedings State College: Pennsylvania State College Press, 1952. p.1380-1385.

RAIJ, B.V.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. **Análise química de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 284p.

RYSZKOWSKI, L.; KEDZIORA, A. Impact of agricultural landscape structure on energy flow and water cycling. **Landscape Ecology**, v. 1, n. 2, p. 85-94, 1987. <http://dx.doi.org/10.1007/bf00156230>.

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: toward a sustainable production system: toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 70-79, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.023>.

SANTOS, H. G.; JOCOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREARAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. ampli. Rio de Janeiro: Embrapa. 2018; 531p.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; PIRES, J.; LAMPERT, E. A.; VARGAS, A. M.; VERDI, A. C. Rendimento de grãos e características agrônomicas de soja em função de sistemas de rotação de culturas. **Bragantia**, v. 73, n. 3, p. 263-273, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0136>.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. *In*: WEAVER, R. W.; AUGLE, S.; BOTTOMLEY, P. J.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A. (ed.). **Methods of**

**soil analysis:** Part 2 Microbiological and biochemical properties. Madison: SSSA; 1994. p. 775-833.

TEDESCO M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa. 2017; 574p.

THOMAZ, E.; ANTONELI, V. Long-term soil quality decline due to the conventional tobacco tillage in Southern Brazil. **Archives Of Agronomy And Soil Science**, v. 68, n. 6, p. 719-731, 2022. <http://dx.doi.org/10.1080/03650340.2020.1852550>.

VAN OS, G. J.; GINKEL, J. H. Suppression of Pythium root rot in bulbous Iris in relation to biomass and activity of the soil microflora. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 33, n. 11, p. 1447-1454, 2001.

ZAGO, L. M. S.; RAMALHO, W. P.; CARAMORI, S. Does Crop-Livestock-Forest Systems Contribute to Soil Quality in Brazilian Savannas? **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 3, p. 1-10, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.034318>.

## APÊNDICE II - ARTIGO II

### IMPACTOS NA MACROFAUNA DO SOLO EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

#### Resumo

As práticas de manejo intensivo das áreas agrícolas, muitas vezes proporciona impactos negativos para os recursos naturais, assim como na abundância, diversidade e estrutura da comunidade da macrofauna do solo. Os sistemas de integração lavoura-pecuária são alternativas para o manejo conservacionista do solo, sustentada pela diversificação de culturas com o potencial de promover maior qualidade sustentável ao sistema. O trabalho teve como objetivo avaliar de forma integrada a macrofauna edáfica, a matéria orgânica e a produtividade da soja em sistemas de pousio e de integração lavoura-pecuária em solos arenosos. O experimento foi conduzido durante três anos (2020–2023) no município de Caiuá/SP, área com implantação de sistema integrado de cultivo de soja com pastagens desde 2016 com os seguintes tratamentos: Pousio CV: Soja pousio (com revolvimento do solo); Pousio PD: Soja - pousio (sem revolvimento do solo); Ruzizensis: Soja- *Urochloa ruzizensis*; Brizantha: Soja — *Urochloa brizantha*. Foram realizadas análises periódicas da macrofauna e atributos do solo, durante três anos. O cultivo de soja pousio mostrou-se como de impacto negativo na comunidade de espécies da macrofauna no solo quando comparado ao sistema integrado. Os sistemas de integração com maior acúmulo de resíduos, apresentaram um melhor desempenho para os atributos avaliados, além de promover maior diversidade de organismos e matéria orgânica do solo, também foi verificado maior produtividade da soja, o que demonstra a efetividade que o sistema de manejo pode agregar ao solo, além dos benefícios proporcionados pela integração.

**Palavras-chave:** Qualidade do solo; sistemas conservacionistas; propriedades edáficas; organismos do solo.

## EDAPHIC MACROFAUNA, SOIL ORGANIC MATTER AND SOYBEAN PRODUCTIVITY IN CROP-LIVESTOCK INTEGRATION SYSTEMS

### Abstract

Intensive management practices in agricultural areas often have negative impacts on natural resources, as well as on the abundance, diversity and structure of the soil macrofauna community. Crop-livestock integration systems are alternatives for soil conservation management, supported by crop diversification with the potential to promote greater sustainable quality to the system. The aim of the work was to evaluate in an integrated way soil macrofauna, organic matter and soybean productivity in fallow and crop-livestock integration systems on sandy soils. The experiment was conducted for three years (2020–2023) in the municipality of Caiuá/SP, an area with the implementation of an integrated soybean cultivation system with pastures since 2016 with the following treatments: Fallow CV: Soy fallow (with soil disturbance); Fallow PD: Soybean - fallow (without soil disturbance); Ruziziensis: Soybean- *Urochloa ruziziensis*; Brizantha: Soy — *Urochloa brizantha*. Periodic analyzes of macrofauna and soil attributes were carried out over three years. The cultivation of fallow soybeans proved to have a negative impact on the community of macrofauna species in the soil when compared to the integrated system. Integration systems with greater residue accumulation presented better performance for the evaluated attributes, in addition to promoting greater diversity of organisms and soil organic matter, greater soybean productivity was also verified, which demonstrates the effectiveness that the management system can add to the soil, in addition to the benefits provided by integration.

**Keywords:** Soil quality; conservation systems; soil properties; soil organisms.

## Introdução

As propriedades bióticas e abióticas dos solos variam em função do tipo de manejo adotado, influenciando diretamente na dinâmica da biodiversidade presente no sistema, assim como em sua qualidade (Silva *et al.*, 2022a). Parte dessa biodiversidade compreende macrofauna, sendo organismos com potencial de fornecer uma variedade de funções pedológicas, como ciclagem de nutrientes, formação e renovação da matéria orgânica, melhoria da estrutura do solo, além de oferecer melhores condições para o crescimento vegetal (Briones; Schmidt, 2017).

Fatores como a expansão demográfica e a demanda por alimento, têm impulsionado o comportamento da utilização intensiva das áreas agrícolas e dos recursos naturais, com o intuito de suprir esta demanda (Alves *et al.*, 2020). Esse tipo de exploração, pode ocasionar efeitos negativos na abundância, riqueza e estrutura na comunidade da macrofauna edáfica, devido aso práticas de manejo inadequadas, bem como a utilização de produtos químicos que contribuem para alterações na composição e características do solo (Fiera *et al.*, 2020).

Sistemas agrícolas mais conservacionistas, podem representar um diferencial na exploração agrícola, pois tem um potencial de fornecer os recursos necessários para a realização de práticas agrícolas e ao mesmo tempo proporcionar melhores condições para que o solo consiga realizar suas funções ecológicas com o menor impacto das atividades. Considerando a sensibilidade da macrofauna edáfica às práticas de manejo, eles são considerados bons indicadores para as mudanças geradas com o uso da terra, fornecendo informações sobre a conservação e manutenção do equilíbrio nos ecossistemas (Martins *et al.*, 2017; Manu *et al.*, 2019).

A macrofauna edáfica apresenta potencial de ser uma indicadora na avaliação da qualidade do solo, devido ao seu ciclo de vida curto, distribuição ampla de grupos funcionais, respostas às perturbações no solo, presença ampla no solo e na serapilheira, facilidade de amostragem, triagem e identificação, relações com as características e atributos do solo e ambientais (Freitas *et al.*, 2006; Góes *et al.*, 2021).

A caracterização e a qualidade do solo, são determinadas por diversos fatores edáficos (textura, estrutura, minerais predominantes, matéria orgânica, umidade, pH), cobertura vegetal, histórico da área, clima e o tipo de manejo desenvolvido. Estes fatores influenciam na composição, abundância, diversidade e na atividade biológica dos organismos presente no solo (Araujo *et al.*, 2021; Nunes *et al.*, 2019).

Neste sentido, o conhecimento dos organismos presentes nos sistemas de produção se faz necessário, considerando as influências que exercem nas interações solo-planta.

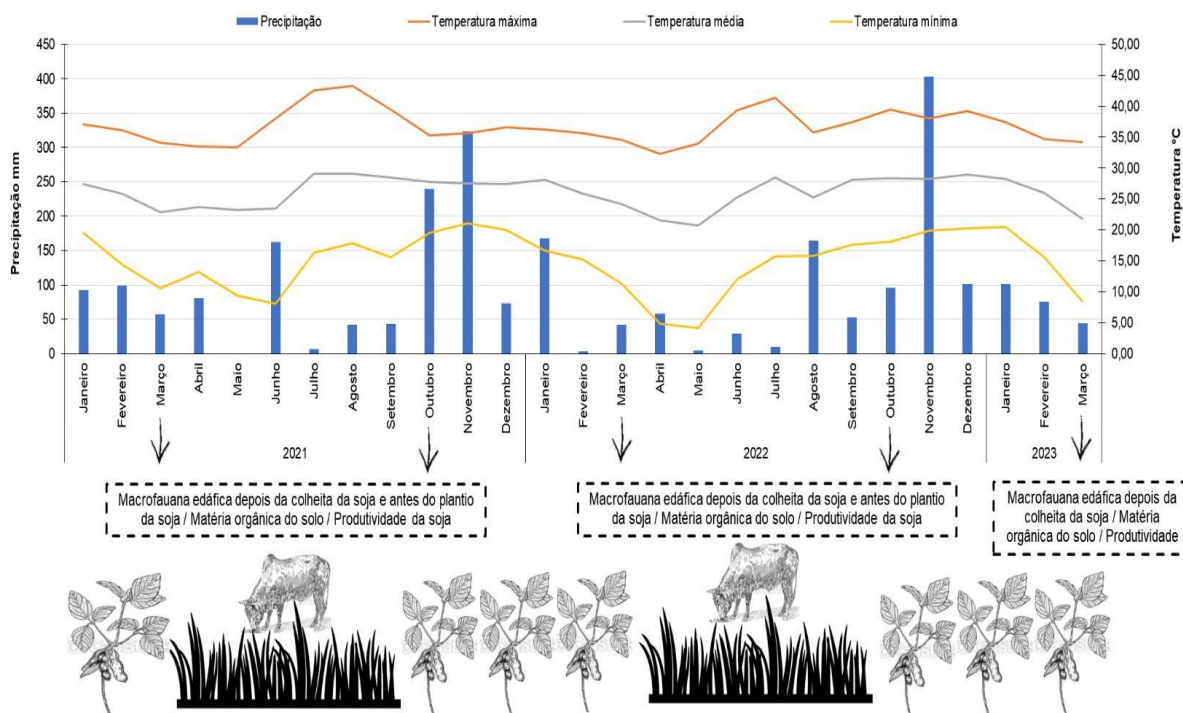
Esse estudo teve como objetivo avaliar de forma integrada a macrofauna edáfica, a matéria orgânica e a produtividade da soja em sistemas de pousio e de integração lavoura-pecuária em solos arenosos.

### **Material e métodos Caracterização do experimento**

O experimento foi conduzido Fazenda Vó Altino, pertencente ao Grupo Facholi, localizada no município de Caiuá — SP, a 21° 49' 54" de latitude sul e 51° 59' 54" de longitude oeste, com 330 m de altitude. O clima prevalecente na região é Aw, segundo classificação de Köppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, com probabilidade de veranicos nos meses de janeiro e fevereiro. A precipitação média anual é de 1.154 mm e a temperatura média anual é de 22,8 °C. O solo em estudo é um Latossolo Amarelo distrófico de textura arenosa (Santos *et al.*, 2018).

O período de análise experimental compreende de março 2020 à março 2023. Iniciando-se com a semeadura da soja na safra 2020/2021, seguida do plantio das forrageiras, fase de pastejo, dessecação do pasto e novamente a cultura da soja na safra 2021/2022 e 2022/2023. A área experimental é de 16,82 hectares, sendo 2,0 hectares o tamanho médio de cada parcela (piquete) experimental. Os dados mensais referentes às temperaturas e precipitação pluvial foram coletados durante a condução do experimento, juntamente com os períodos de coleta das amostras de solo e raiz da soja (Figura 1).

Figura 1 - Condições climáticas registradas na condução do experimento, Caiuá – SP.



Fonte: Dados Meteorológicos (Agritempo, 2023).

### Histórico da área experimental

O experimento teve início no ano de 2015 com a semeadura da soja em novembro e a colheita em março de 2016. No decorrer dos anos de 2016, 2017 e 2018 foram cultivadas safrinhas de milho consorciadas com forrageiras *Urochloa ruziziensis*, *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás na densidade de 5 kg ha<sup>-1</sup> de sementes puras viáveis, em linha com 0,4 m de espaçamento e a safra da soja no verão em sucessão. As adubações foram realizadas somente nas culturas de produção de grãos, seguindo a recomendação do Boletim Técnico 100 do Instituto Agrônomo (Raj *et al.*, 1987).

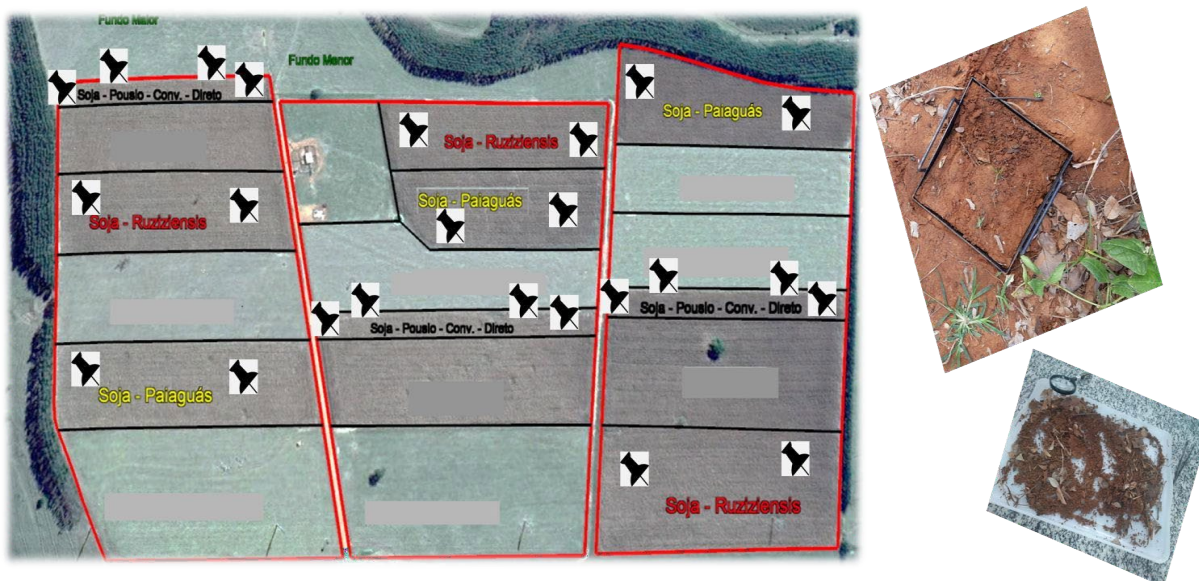
Após a colheita da soja, no início de março de 2019, foi realizada a implantação de novas pastagens, como safrinha, que foram pastejadas por novilhos Nelore de maio a agosto de 2019, utilizando as pastagens de *Urochloa ruziziensis*, *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás e *Megathyrsus maximus* cv. BRS Zuri. Em setembro foi realizada a dessecação dos pastos safrinha para semeadura da soja na sequência. Após a colheita da soja, em março de 2020, foi realizada a implantação das pastagens com a semeadura das forrageiras, solteiras ou misturadas, consistindo

em *Urochloa ruziziensis*, *Urochloa. Brizantha* cv. BRS Paiaguás e mistura de *Urochloa ruziziensis* consorciada com BRS Paiaguás, nas proporções de 33 e 67%, respectivamente, e vice-versa. A semeadura dos pastos foi realizada em linha, com espaçamento de 0,17 m na densidade de 15 kg ha<sup>-1</sup> de sementes revestidas. O período de pastejo será de junho a agosto de 2020, com novilhos Nelore com peso médio de 260 kg e idade de 12 meses, visando manter altura do pasto em 0,30m e oferta adequada nos capins. Após o período de pastejo e com boas condições de umidade, a área foi dessecada para posterior semeadura da soja da safra 2020/2021 e início do período de análise do experimento em questão.

### Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi estabelecido em blocos casualizados, com três repetições conduzido os seguintes tratamentos a partir da safra 2020/2021: Pousio CV: Soja — pousio (com revolvimento do solo); Pousio PD: Soja - pousio (sem revolvimento do solo); *Ruzizizensis*: Soja- *Urochloa ruziziensis*; *Brizantha*: Soja — *Urochloa brizantha* (Figura 2).

Figura 2 - Representação do croqui da área de estudo, Caiuá – SP.



Fonte: A autora

Esse estudo iniciou-se no mês de novembro de 2020, onde foi realizado a semeadura da soja cultivar Brasmax Fibra (safra 2020-21), recomendada de acordo com as condições edafoclimáticas da região. A semeadura foi realizada com a utilização de uma semeadora-adubadora com mecanismo sulcador do tipo haste



(facção) para o plantio direto, com espaçamento de 0,45m e, aproximadamente, 20 sementes por metro de sulco, almejando uma população próxima a 330.000 plantas ha<sup>-1</sup> Após a colheita dos grãos, no início de março de 2021, realizou-se a semeadura das forrageiras.

Para a semeadura das forrageiras, utilizou-se 15 kg de sementes ha<sup>-1</sup>, tratada com fungicida e inseticida, incrustada por silicato de magnésio e polímero de base orgânica. A semeadura foi realizada em linhas, com espaçamento de 0,17 m com a semeadora Modelo Semeato TDAX. Depois de formadas, teve início ao pastejo para avaliação do desempenho animal nestas pastagens, no período considerado como entressafra (maio a agosto 2021).

Foram utilizados novilhos da raça Nelore, com peso médio inicial de aproximadamente 220 kg e idade média de oito meses. Em cada parcela experimental foi utilizado um número fixo de animais “testers” e um número variável de reguladores, conforme a necessidade de ajuste na lotação para manutenção da meta de manejo do pasto. O método de pastejo adotado foi o contínuo com lotação variável, utilizando a técnica de *put and take* (Mott; Lucas, 1952), visando manter altura da pastagem em 0,30 m para todos os tratamentos (Franchini *et al.*, 2015; Euclides *et al.*, 2016).

Após o período de pastejo em 2021, foi realizada a dessecação dos pastos, seguida de repouso em torno de 30 dias para a completa senescência das plantas. Em seguida, sob a palhada, a soja foi semeada novamente (safra 2021- 2022) no resíduo pós-pastejo dessecado, e foi conduzida até sua colheita em meados de março de 2022. Esse mesmo planejamento foi aplicado na safra de 2022/2023. Ressalta-se que a cultivar utilizada, bem como tratos culturais, foram os mesmos já mencionados para safra 2020/2021.

### **Avaliações**

As amostras de solo para avaliação da fauna foram coletadas antes da semeadura e depois da colheita da soja, preferencialmente após o período chuvoso, pois espera-se alta riqueza de fauna do solo e redução da variação da abundância durante o período chuvoso, sendo, portanto, mais indicado para a avaliação da fauna do solo (Cunha Neto *et al.*, 2012). Os monólitos de solo (Anderson; Ingram, 1993) de 25 x 25 cm, à profundidade de 10 cm, são coletados em cada unidade experimental e classificados de acordo com o Tropical Soil Biology and Fertility Institute (TSBF). Após a coleta, realizou-se a triagem manual, com o auxílio de iluminação artificial,

espátula e pinça, e todos os organismos encontrados foram fixados em álcool 80%, com exceção das minhocas fixadas em álcool 92,8%. Posteriormente, realizou-se a contagem e identificação dos organismos em grupos taxonômicos. A abundância faunística foi estimada pelo número de indivíduos por  $m^2$ , já a diversidade faunística foi estimada pela riqueza (número de grupos), pelo índice de diversidade de Shannon ( $H'$ ) e pela equitabilidade ( $E$ ). O  $H'$  é calculado pela fórmula:

$$H' = \sum_{i=1}^s p_i \cdot \log_2(p_i),$$

Sendo  $p_i$  = probabilidade de encontrar um número de indivíduos de um táxon no total de indivíduos.  $H'$  está no máximo quando todos os táxons são de igual abundância e é 0 quando há apenas um táxon.

O índice de equitabilidade ( $E$ ) é uma razão entre a diversidade calculada e a diversidade máxima:

$$E = H' / \log_2(s),$$

Onde  $E$  representa a distribuição dos táxons e avalia o equilíbrio das populações. Igual a 1 significa que todos são de igual abundância e quando tende a 0 significa que um ou alguns táxons dominam amplamente a comunidade (Franco *et al.*, 2016).

Parte das amostras de solo coletadas foram para a avaliação da matéria orgânica, segundo metodologia descrita por Raij *et al.* (2001).

A produtividade da soja foi avaliada com base em amostras selecionadas aleatoriamente dentro das unidades experimentais, sendo que as amostras foram constituídas por duas linhas de 5 m cada uma. As amostras coletadas em campo foram processadas por trilhadeira, acoplada na tomada de força de um trator. Os grãos trilhados foram levados ao laboratório para a correção da umidade para 13%, em seguida calculada a massa de 100 grãos e, por fim, a produtividade de grãos em quilogramas por hectare.

### **Análise de dados**

Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo a diferença significativa entre os tratamentos determinada pelo teste F, com as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, desenvolvido no software estatístico SISVAR® (Ferreira, 2011).

## Resultados

De acordo com os resultados encontrados verificou-se que a frequência relativa dos grupos de organismos da macrofauna edáfica (Figura 3), apresenta predominância de Coleoptera, considerando-se os grupos de organismos avaliados nos três anos. Destacando-se os tratamentos de soja pousio como de maior frequência desse grupo, em algumas avaliações com 100 % de frequência. Por outro lado, ocorreu maior variedade de grupos nos tratamentos com integração soja- capim, quando comparados aos sistemas de pousio. Verificou-se também na última avaliação redução pronunciada da ocorrência de alguns grupos, constatando-se apenas três grupos: Hemíptera, Coleoptera e Formicidae na última avaliação em 2023.

A avaliação de número de indivíduos componentes da macrofauna mostrou relativa superioridade nas áreas com a presença das pastagens com valores próximos de 100 indivíduos por m<sup>2</sup> que contrasta com a área de pousio convencional que apresentou valores próximos de 30 indivíduos (Figura 4A), enquanto a riqueza de grupos taxonômicos mostraram valores maiores nos tratamentos com integração lavoura-pecuária, com cerca de 6 taxas encontrados, mas ao longo do estudo ocorreu redução desse atributo em cerca de 50% apenas no tratamento que utilizou a *Urochloa ruziziensis*, essa redução foi menor, fazendo com que ele mantivesse como o de melhor desempenho (Figura 4B).

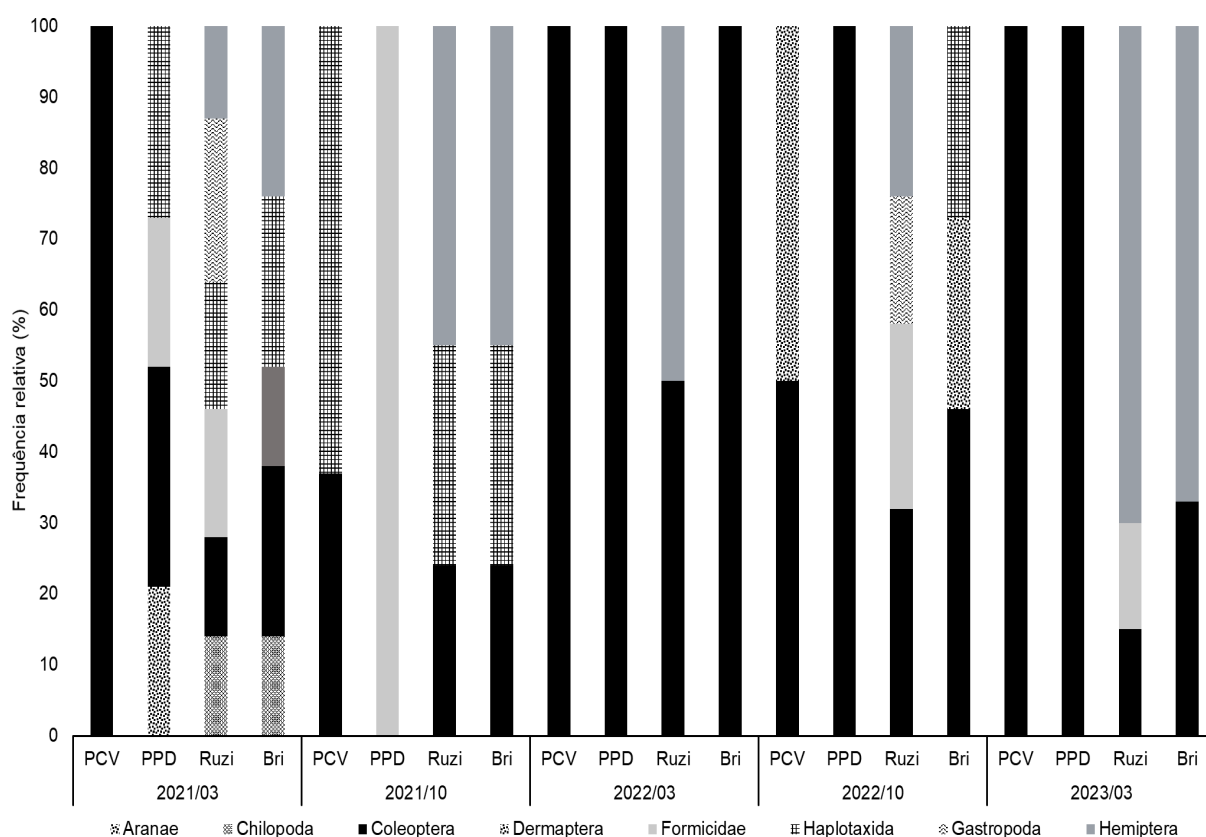
O índice de diversidade, revelou que houve decréscimo ao longo do estudo, mas com superioridade nos tratamentos com capim, destacando-se o tratamento de integração Ruziziensis (Figura 5A). Pode também ser evidenciado que ocorreu valores de diversidade próximos de zero nos tratamentos com soja pousio no sistema convencional. De maneira geral os tratamentos com integração apresentaram maior diversidade de grupos nos anos avaliados, quando comparados aos sistemas de pousio.

O índice de equitabilidade, apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Figura 5B), com destaque ao tratamento com soja e *Urochloa brizantha*. Observando-se ausência de resultados nesse indicador no tratamento da soja com pousio sem revolvimento em quatro dos cinco períodos avaliados, em consonância com o que foi encontrado no índice de diversidade.

Fazendo uma análise temporal com as médias das avaliações antes e depois da soja, nos três anos do estudo, verifica-se que houve melhor desempenho dos

tratamentos com pastagem no quesito número de indivíduos e diversidade da macrofauna (Figura 6). Destacando-se que os tratamentos com pousio tivera um índice de diversidade zero na maioria das avaliações (Figura6B).

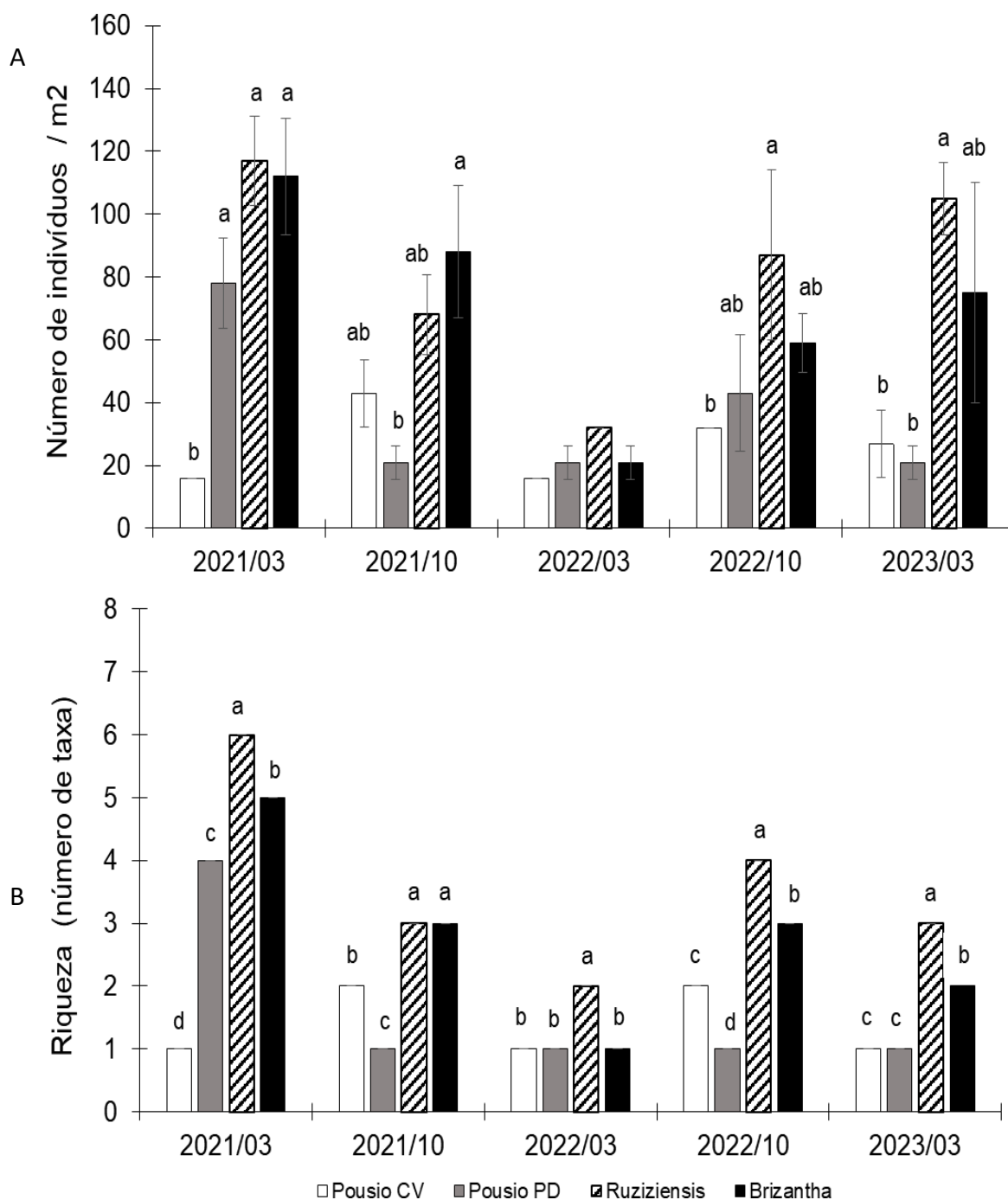
Figura 3 - Frequência relativa da macrofauna edáfica, nos respectivos anos de avaliação (0,00 — 0,10m), Caiuá — SP.



Fonte: A autora

Valores médios da frequência relativa da macrofauna edáfica, nos respectivos anos de avaliação.

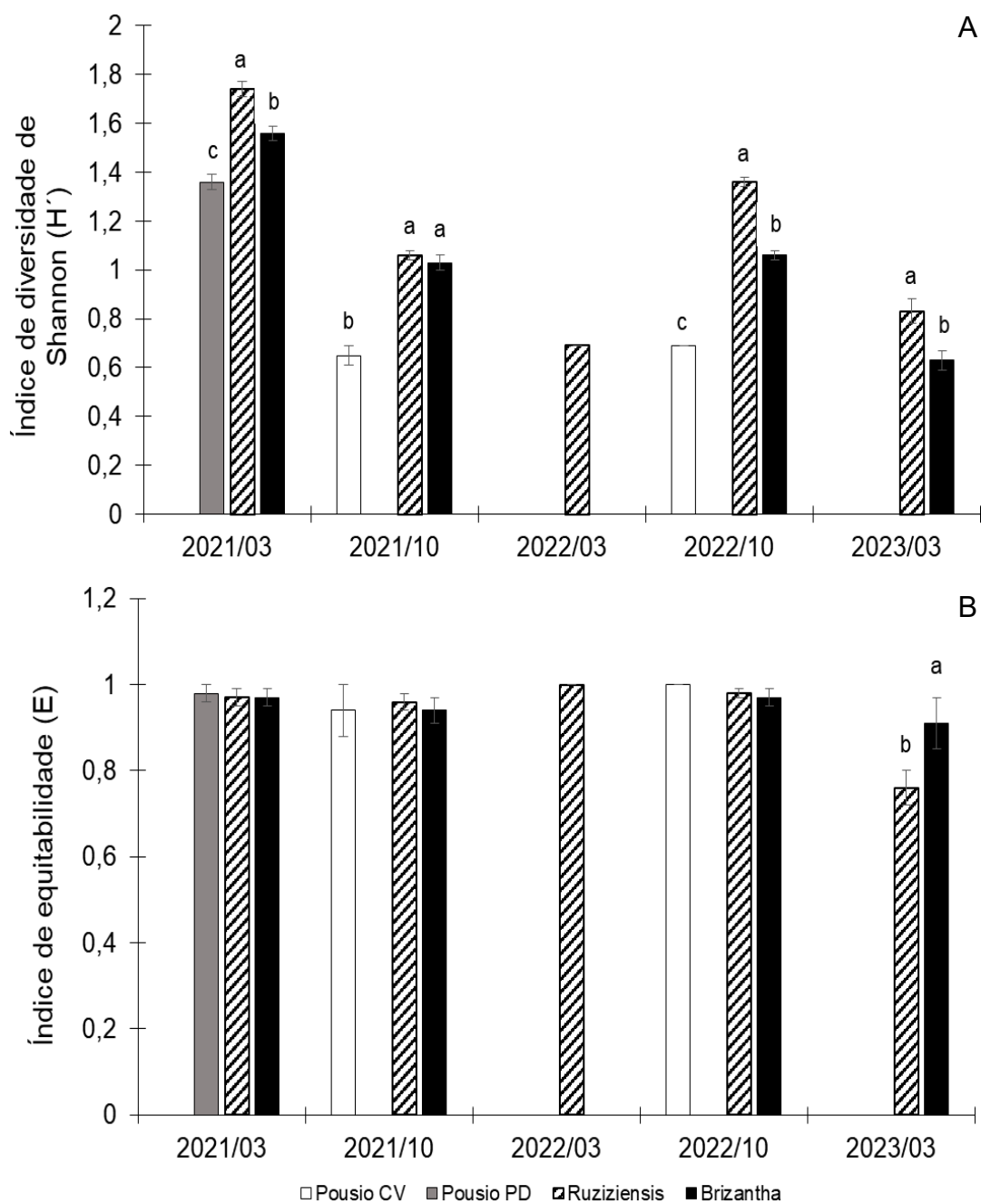
Figura 4 - Parâmetros de número de indivíduos e riqueza de grupos taxonômicos do solo, nos respectivos anos de avaliação (0 — 0,10m), Caiuá — SP.



Fonte: A autora

Valores médios dos parâmetros de diversidade da macrofauna do solo, nos respectivos anos de avaliação. As barras indicam o erro padrão da média. As letras indicam a diferença entre os sistemas de cultivo pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

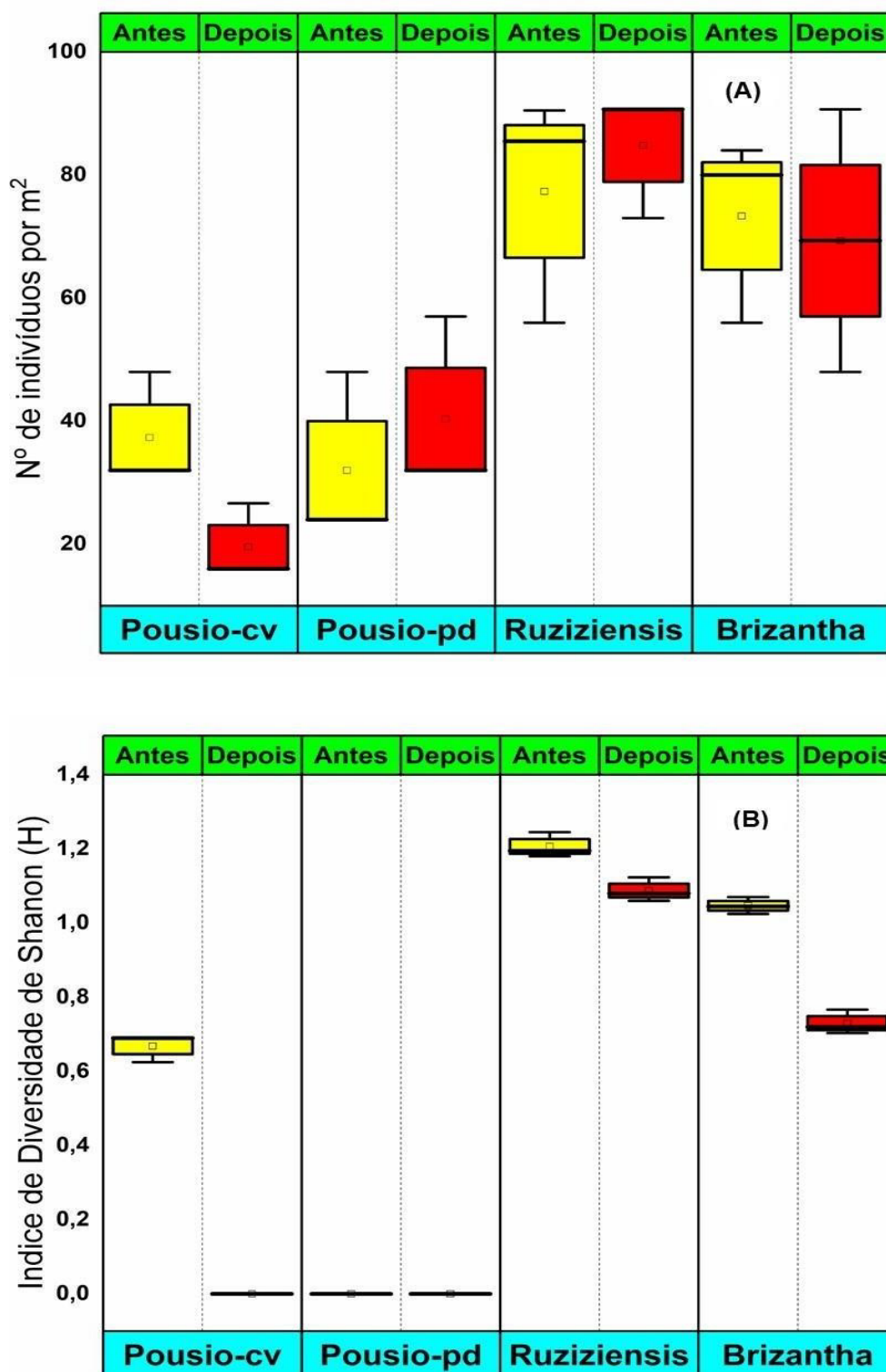
Figura 5 - Parâmetros de diversidade e equitabilidade da macrofauna do solo, nos respectivos anos de avaliação (0 — 0,10m), Caiuá — SP.



Fonte: A autora

Valores médios dos parâmetros de diversidade da macrofauna do solo, nos respectivos anos de avaliação. As barras indicam o erro padrão da média. As letras indicam a diferença entre os sistemas de cultivo pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

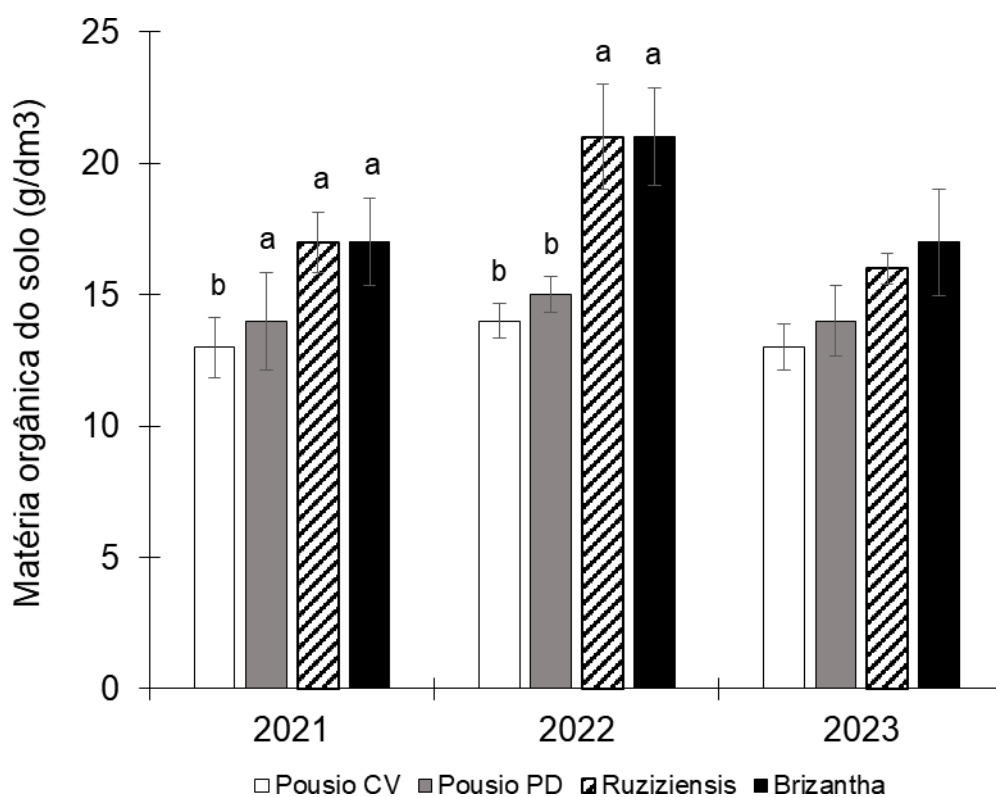
Figura 6 - Efeito dos tratamentos conduzidos sobre o número de indivíduos (A) e diversidade (B) da macrofauna antes e depois do cultivo da soja.



Fonte: A autora  
Média de três anos, Caiuá, SP

A matéria orgânica do solo (Figura 7), apresentou diferença significativa entre os tratamentos nos anos de 2021 e 2022, ambos com destaque de maior valor aos tratamentos com integração soja pastagens, e menores valores para os sistemas de soja-pousio, o ano de 2023 não apresentou diferença, mas manteve o mesmo comportamento para os sistemas de integração.

Figura 7 - Matéria orgânica do solo, nos respectivos anos de avaliação (0 — 0,10m), Caiuá — SP.



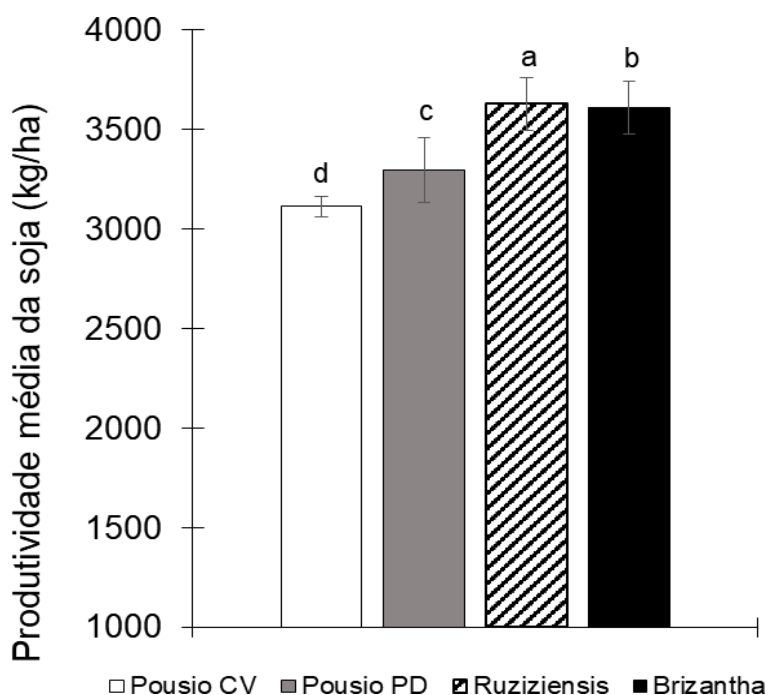
Fonte: A autora

Valores médios da matéria orgânica do solo nos respectivos anos de avaliação. As barras indicam o erro padrão da média. As letras indicam a diferença entre os sistemas de cultivo pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

O rendimento da soja médio da soja (Figura 8), apresentou diferença entre os tratamentos, ambos com destaque para maior produtividade aos tratamentos com sistema de integração tanto com *Urochloa ruzizensis* quanto com *Urochloa brizantha*.



Figura 8 - Produtividade média da soja de três anos (2021-2023), Caiuá — SP.



Fonte: A autora

Valores médios da produtividade da soja. As barras indicam o erro padrão da média. As letras indicam a diferença entre os sistemas de cultivo pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

## Discussão

As pastagens perenes conseguem manter a presença de grupos importantes da macrofauna como das classes Isoptera (cupins), Annelida (minhocas) e Coleoptera (besouros) em razão da presença do pastoreio animal e da entrada de carbono no solo (Franco *et al.*, 2016). A mecanização, pesticidas e fertilizantes representam riscos para minhocas, cupins, besouros, aranhas, grilos e milípedes (Giacomo *et al.*, 2017). De forma geral, a quantidade média de indivíduos encontrados nesse estudo com integração lavoura-pecuária ficou próxima de 100 indivíduos, ou seja, valor muito abaixo do valor encontrado por Franco *et al.* (2016) que encontrou próximo de 1000 indivíduos em pastagem perene. A macrofauna edáfica, nesse estudo foi influenciada pelos manejo aplicado e atributos do solo nos diferentes tratamentos, assim como pelas condições climáticas nos períodos de avaliação. Destaca-se que antes do início estudo era cultivado milho a safrinha o que pode ter influenciado nos valores mais elevados em alguns índices nas primeiras avaliações. O grupo dos Coleoptera, foi o mais representativo entre os sistemas, com predomínio total em

alguns tratamentos, mas não se encontrou indivíduos do grupo Isoptera. Em estudo realizado em sistemas de produção de soja em plantio direto foi encontrado maior representatividade de Coleoptera, Oligochatea e Hymenoptera em aproximadamente 70% dos organismos identificados (Kraft *et al.*, 2021).

A integração da pastagem com o cultivo da soja pode contribuir para manter um número mínimo de grupos taxonômicos importantes para a ciclagem de nutrientes no solo, pois no cultivo apenas com a soja e pousio na entressafra verificou-se nesse estudo forte redução dos índices faunísticos. Este efeito negativo de monocultivo foi encontrado em área de cultivo de cana por cinco anos após pastagem, onde verificou-se diminuição da diversidade da macrofauna (Franco *et al.*, 2016). Verificou-se no estudo que na avaliação inicial encontrou-se em alguns tratamentos seis grupos predominantes, mas nas últimas avaliações verificou-se a presença de até três grupos nos sistemas: Coleoptera, Hemíptera e Formicidae.

A diversidade de grupos da macrofauna sofre influência de fatores como umidade do solo, temperatura, tipo de cobertura vegetal, composição radicular, entre outros fatores que proporcionam uma relação direta da presença desses organismos com a qualidade do sistema (Birkhofer *et al.*, 2015), possibilitando uma relação linear entre o aumento da diversidade com a produtividade da soja como foi observado no estudo, onde os tratamentos que apresentaram maior produtividade de grãos sendo os sistemas de integração com pastagens também foram os que encontramos uma maior diversidade de organismos (Kraft *et al.*, 2021).

O índice de equitabilidade é derivado do índice de diversidade, no qual permite demonstrar a uniformidade dos indivíduos entre as espécies existentes (Pielou, 1966), de modo que quanto maior o valor obtidos, melhor a distribuição da macrofauna edáfica entre os grupos (Kraft *et al.*, 2021). Isto reforça o que foi encontrado no estudo, onde os tratamentos que obtiveram maior diversidade estão relacionados com maior acúmulo de resíduos vegetais e cobertura do solo, também foi encontrado sintonia com aumento de matéria orgânica do solo.

As culturas de cobertura do solo promove melhores condições no habitat dos grupos de organismos avaliados pois melhora as propriedades do solo através da fragmentação e decomposição da matéria orgânica e da engenharia estrutural do sistema, a forte relação dos atributos físicos químicos e biológicos demonstra a importância do monitoramento e avaliação desses componentes (Lima *et al.*, 2021). Indo de encontro com os resultados obtidos, onde sistemas que geram maior acúmulo

de resíduos abrigam um maior número de organismos e uma maior diversidade da macrofauna edáfica.

Sabe-se que os sistemas de cultivo na agricultura moderna tem causado grandes danos na macrofauna do solo em razão do manejo fitossanitário empregado que baseia em aplicações periódicas de defensivos químicos na cultura (Bell *et al.*, 2007). Enfatizando-se que no nosso estudo encontrou-se índices de diversidade zero nos tratamentos com soja e pousio. Esta condição ainda vai continuar por vários anos nos sistemas de produção das culturas de grande escala como a soja. Mas, em alguns manejos podemos atenuar esse impacto pelo uso de sistemas de cultivo que melhore a estrutura do solo e a ciclagem da matéria orgânica que são funções executadas naturalmente pela macrofauna do solo (Jouquet *et al.*, 2006). Isto sendo feito podemos ter mais sustentabilidade do sistema com possibilidade de manter maiores rendimentos da cultura por longo tempo.

Os sistemas integrados de cultivo, proporcionam agricultura mais sustentável, como encontrado no caso do consórcio de leguminosas que aumenta a matéria orgânica do solo e produtividade de grãos (Silva *et al.*, 2022). O rendimento de grãos e características agrônômicas da soja em função dos sistemas de rotação de culturas, evidenciou que a combinação de sistemas de manejo do solo conservacionista, favorece também a matéria orgânica do solo produtividade da soja, quando comparado com a soja em monocultura (Santos *et al.*, 2014), corroborando com os resultados do presente estudo, no qual identificou esse mesmo comportamento, onde os tratamentos com integração se destacaram com maiores valores de diversidade da macrofauna e também na produtividade da soja em comparação com os sistemas de pousio. Mostrando com isso que são sistemas que atendem com mais requisitos os critérios de sustentabilidade.

### **Conclusões**

O cultivo de soja com pousio na entressafra pousio mostrou-se como de impacto negativo na comunidade de espécies da macrofauna no solo quando comparado ao sistema integrado.

Os sistemas integrados mostraram valores maiores nos índices faunísticos avaliados, com destaque na utilização da *Urochloa ruziziensis*. Esses sistemas também proporcionaram maiores valores de matéria orgânica no solo e rendimento da soja.

## Referências bibliográficas

AGRITEMPO. **Sistema de Monitoramento Agrometeorológico**. 2023.

ARAUJO, E. C. G.; SILVA, T. C.; CHAGAS, K. P. T.; CUNHA NETO, E. M.; BEZERRA, J. C. F.; BORGES, C. H. A.; MARTINS, V. C.; SANQUETTA, C. R.; LIMA, T. V. Soil macrofauna in Brazil: a bibliometric review and state of the art. **Scientific Electronic Archives**, v. 14, n. 3, p. 14-25, 2021. <http://dx.doi.org/10.36560/14320211296>.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. **Soil Science**, v. 157, n. 4, p. 265, 1994.

ALVES, M. V.; NAIBO, G.; SBRUZZ, E. K.; MACHADO, J. S.; NESI, C. N. Fauna edáfica em diferentes usos do solo. **Acta Biológica Catarinense**, v. 7, n. 1, p. 37-45, 2020.

BIRKHOFFER, K.; SMITH, H. G.; WEISSER, W. W.; WOLTERS, V.; GOSSNER, M. M. Land-use effects on the functional distinctness of arthropod communities. **Ecography**, v. 38, p. 1-12, 2015.

BELL, M.J., STIRLING, G.R., PANKHURST, C.E., 2007. Management impacts on health of soils supporting Australian grain and sugarcane industries. **Soil and Tillage Research**, v. 97, n. 2, p. 256-271, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.06.013>

BRIONES, M. J. I.; SCHMIDT, O. Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis. **Global change biology**, v. 23, n. 10, p. 4396-4419, 2017. <https://doi.org/10.1111/gcb.13744>

CUNHA NETO, F. V. D.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, G. H. A.; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. D. S. Soil fauna as an indicator of soil quality in forest stands, pasture and secondary forest. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1407-1417, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832012000500004>.

EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D. B.; BARBOSA, R. A.; VALLE, C. B.; NANTES, N. N. Animal performance and sward characteristics of two cultivars of *Brachiaria brizantha* (BRS Paiaguás and BRS Piatã). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, p. 85-92, 2016. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902016000300001>

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>

FIERA, C.; ULRICH, W.; POPESCU, D.; BUNEA, C.; MANU, M.; NAE, I.; STAN, M.; MARKÓ, B.; URÁK, I.; GIURGINCA, A.; PENKE, N.; WINTER, S.; KRATSCHEMER, S.; BUCHHOLZ, J.; QUERNER, P.; JOHANN, G. Effects of vineyard inter-row

management on the diversity and abundance of plants and surface-dwelling invertebrates in Central Romania. **Journal of insect conservation**, v. 24, n. 1, p. 175-185, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10841-019-00215-0>

FRANCO, A. L. C.; BARTZ, M. L. C.; CHERUBIN, M. R.; BARETTA, D.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; WALL, D. H.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Loss of soil(macro) fauna due to the expansion of Brazilian sugarcane acreage. **Science of the Total Environment**, v. 563, p. 160-168, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.116>.

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H. CONTE, O. Desempenho da soja em consequência de manejo de pastagem, época de dessecação e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.50, n.12, p.1131-1138, 2015. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015001200002>

FREITAS, A. V. L.; LEAL, I. R.; UEHARA-PRADO, M.; IANNUZZI, L. Insetos como indicadores de conservação da paisagem. *In*: ROCHA, C. F. D.; BERGALLO, H. G.; VAN-SLUYS, M.; ALVES, M. A. S. (ed.). **Biologia da Conservação**. Rio de Janeiro: Editora da UERJ, 2006. p.201-225.

GIÁCOMO, R. G.; SOUZA, R. C.; ALVES, M. C.; PEREIRA, M. G.; ARRUDA, O. G.; PAZ GONZÁLEZ, A. Soil fauna: Bioindicator of soil restoration in Brazilian savannah. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 2, p. 236-243, 2017.

GÓES, Q. R.; FREITAS, L. R.; LORENTZ, L. H.; VIEIRA, F. C. B.; WEBER, M. A. Análise da fauna edáfica em diferentes usos do solo no Bioma Pampa. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 1, p. 123-144, 2021. <https://doi.org/10.5902/1980509832130>.

JOUQUET, P., DAUBER, J., LAGERLOF, J., LAVELLE, P., LEPAGE, M. Soil invertebrates as ecosystem engineers: intended and accidental effects on soil and feedback loops. **Applied soil ecology**, v. 32, n. 2, p. 153-164, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.07.004>

KRAFT, E.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; CARNEIRO, M. C.; KLAUBERG-FILHO, O.; BARETTA, C. R. D. M.; BARETTA, D. Edaphic fauna affects soybean productivity under no-till system. **Scientia Agricola**, v. 78, n. 2, p. 1-11, jan. 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2019-0137>.

LIMA, S. S de; AQUINO, A. M de; SILVA, R. M da; MATOS, P. S.; PEREIRA, M. G. Edaphic fauna and soil properties under different managements in areas impacted by natural disaster in a mountainous region. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, p. 1-16, 2021. <http://dx.doi.org/10.36783/18069657rbcs20200156>.

MANU, M.; HONCIUC, V.; NEAGOE, A.; BĂNCILA, R. I.; IORDACHE, V.; ONETE, M. Soil mite communities (Acari: Mesostigmata, Oribatida) as bioindicators for environmental conditions from polluted soils. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 20250, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56700-8>

MARTINS, L. F.; PEREIRA, J. M.; TONELLI, M.; BARETTA, D. Composição da macrofauna do solo sob diferentes usos da terra (cana-de-açúcar, eucalipto e

mata nativa) em Jacutinga (MG). **Revista agrogeoambiental**, v. 9, n. 1, 2017. <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v9n12017913>

MOTT, G.O.; LUCAS, H.L. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. *In*: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESSES, 6., 1952, State College. Proceedings State College: Pennsylvania State College Press, 1952. p.1380-1385.

NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO, A. S. F.; PESSOA, M. M. C.; SOUSA, R. S.; SILVA, J. D. C.; MATOS-FILHO, C. H. A. Edaphic fauna in a vegetation gradient in the Sete Cidades National Park. **Brazilian Journal Of Biology**, v. 79, n. 1, p. 45-51, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.174135>.

PIELOU, E. C. The measurement of diversity in different types of biological collections. **Journal of Theoretical Biology**, v. 13, p. 131-144, 1966.

RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química de solo para fins de fertilidade** Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

RAIJ, B. VAN; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 284p.

SANTOS, H. G.; JOCOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREARAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. ampli. Rio de Janeiro: Embrapa. 2018; 531p.

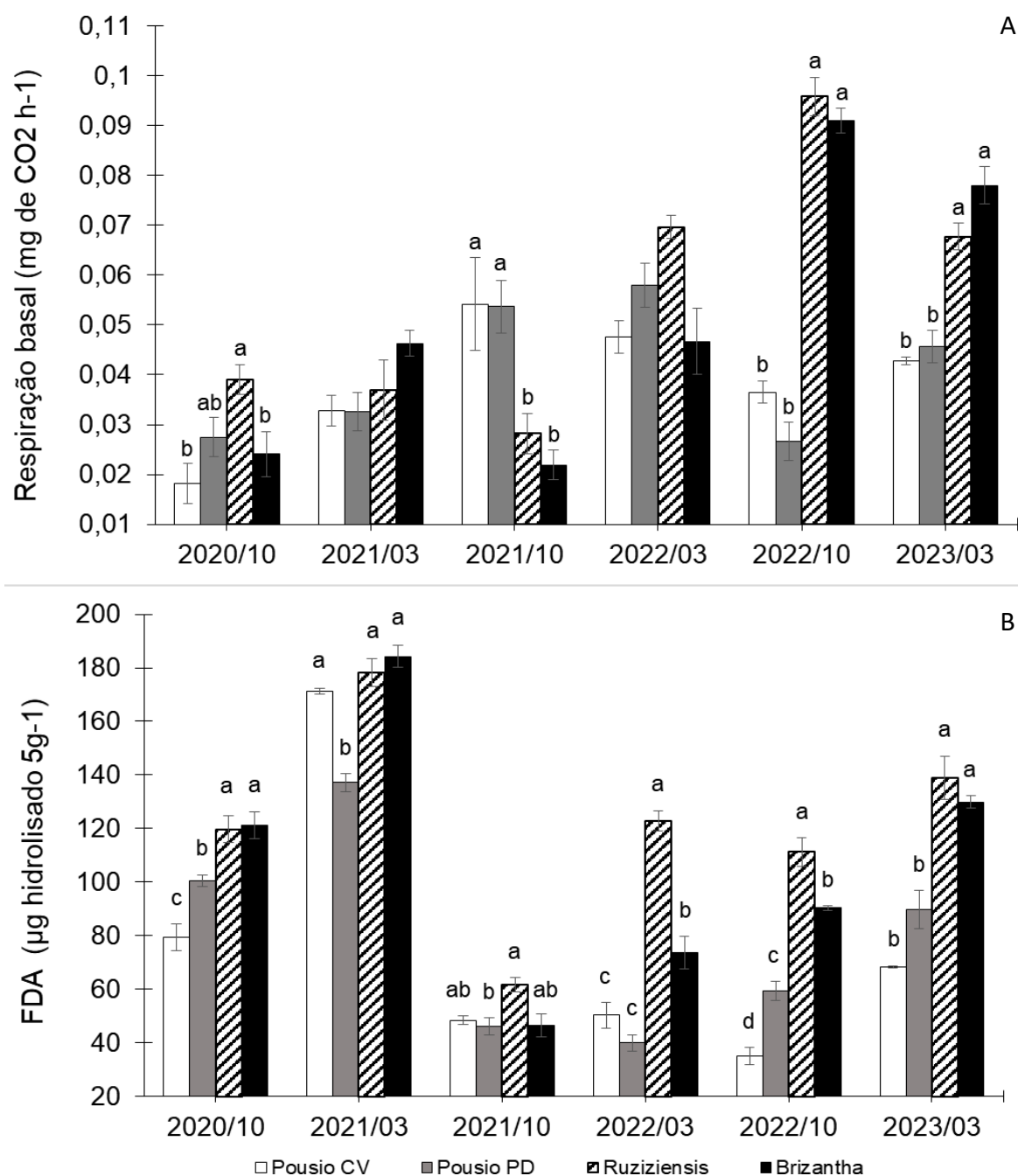
SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; PIRES, J.; LAMPERT, E. A.; VARGAS, A. M.; VERDI, A. C. Rendimento de grãos e características agronômicas de soja em função de sistemas de rotação de culturas. **Bragantia**, v. 73, n. 3, p. 263-273, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0136>.

SILVA, S. I. A.; SOUZA, T.; LUCENA, E. O.; LAURINDO, L. K.; SANTOS, D. Influência de sistemas de cultivo sobre a comunidade da fauna edáfica no nordeste do Brasil. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 2, p. 829-855, 2022. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509855320>.

SILVA, L. S.; LAROCA, J. V. S.; COELHO, A. P.; GONÇALVES, E. C.; GOMES, R. P.; PACHECO, L. P.; CARVALHO, P. C. F.; PIRES, G. C.; OLIVEIRA, R. L.; SOUZA, J. M. A. Does grass-legume intercropping change soil quality and grain yield in integrated crop-livestock systems? **Applied Soil Ecology**, v. 170, p. 104257, 2022. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104257>.

## ANEXO

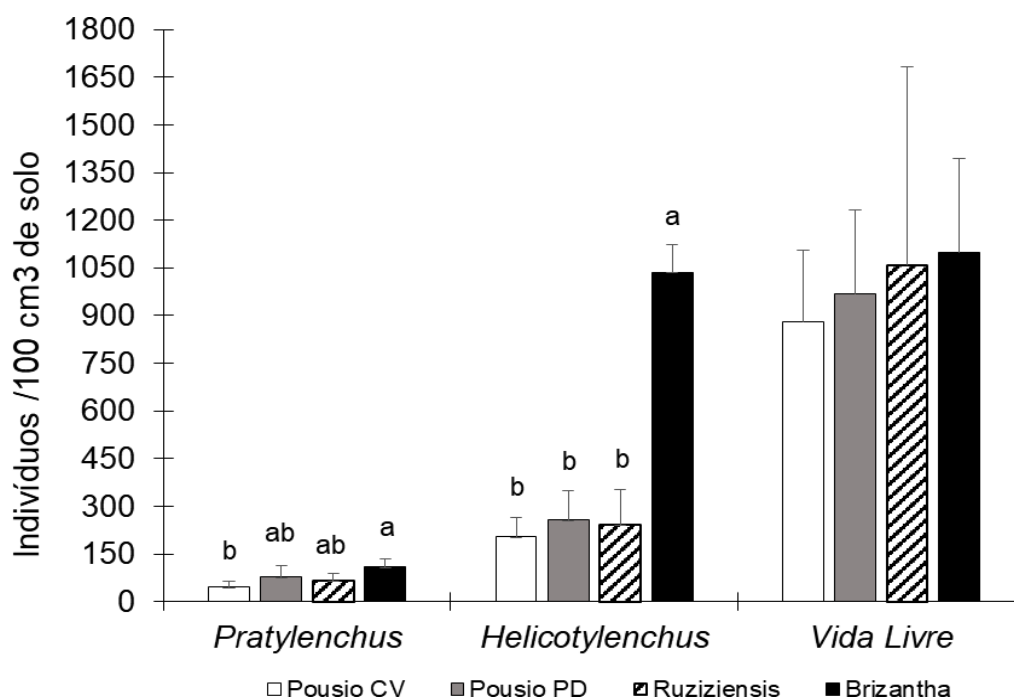
Figura 14 - Atributos microbianos do solo (0 – 0,10m), Caiuá – SP.



Fonte: A autora

Valores médios dos atributos microbianos do solo nos respectivos anos de avaliação. As barras indicam o erro padrão da média. As letras indicam a diferença entre os sistemas de cultivo pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Figura 15 - Diagnóstico de nematoides encontrados no solo em 2020 (0 – 0,20m), Caiuá — SP.



Fonte: A autora

Valores médios de nematoides encontrados no ano de 2020. As barras indicam o erro padrão da média. As letras indicam a diferença entre os sistemas de cultivo pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Tabela 6 - Valores médios da respiração basal do solo e da enzima FDA do solo, no período de 2020 a 2023, antes e depois do cultivo da soja em diferentes sistemas de produção (0 — 0,10m).

Tratamentos	RBS antes	RBS depois	FDA antes	FDA depois
	(mg de C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> solo hora <sup>-1</sup> )		(ug hidrolisada 5g <sup>-1</sup> solo)	
Pousio CV	4,3 ab	5,4 b	78,2 c	38,3 c
Pousio PD	3,5 b	6,7 ab	89,3 b	54,0 b
Ruziziensis	5,1 a	7,5 a	108,9 a	73,5 a
Brizantha	4,7 b	7,0 ab	114,5 a	82,5 a

Fonte: A autora

Letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos. RBS: Respiração basal do solo; FDA: Enzima hidrólise de diacetato de fluoresceína.