

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

JULIANO MUNIZ DA SILVA DOS SANTOS

FAUNA EDÁFICA EM SISTEMAS REGENERATIVOS DE PRODUÇÃO DE GRÃOS

LAGES, SC

2023

JULIANO MUNIZ DA SILVA DOS SANTOS

FAUNA EDÁFICA EM SISTEMAS REGENERATIVOS DE PRODUÇÃO DE GRÃOS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo, área de concentração em Manejo do Solo.

Orientador: Dr. Álvaro Luiz Mafra

Coorientadora: Dra. Júlia Carina Niemeyer

**LAGES, SC
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Universitária Udesc,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Santos, Juliano Muniz da Silva dos
FAUNA EDÁFICA EM SISTEMAS REGENERATIVOS DE
PRODUÇÃO DE GRÃOS / Juliano Muniz da Silva dos Santos. --
2023.
74 p.

Orientador: Álvaro Luiz Mafra
Coorientadora: Júlia Carina Niemeyer
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2023.


1. Saúde do solo. 2. Biologia do solo. 3. Sistema
conservacionista. I. Mafra, Álvaro Luiz . II. Niemeyer, Júlia Carina .
III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.
IV. Título.

JULIANO MUNIZ DA SILVA DOS SANTOS


FAUNA EDÁFICA EM SISTEMAS REGENERATIVOS DE PRODUÇÃO DE GRÃOS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo, área de concentração em Manejo do Solo.

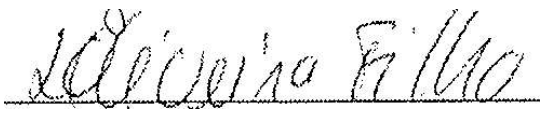
BANCA EXAMINADORA

Orientador/Presidente: 

Dr. Álvaro Luiz Mafra
UDESC Lages, Brasil.

Membro externo: 

Dra. Mayara Costa Carneiro
Secretaria da Saúde – SC

Membro interno: 

Dr. Luís Carlos Iuñes de Oliveira Filho
UDESC Lages, Brasil.

Lages, 21 de julho de 2023.

DEDICO

Em especial a minha família, aos meus amigos e todos que, mesmo que brevemente, puderam contribuir para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha família por todo o apoio e incentivo que, desde sempre, esteve presente pra a realização e continuação desta jornada de estudos e aprendizados. Em especial as minhas mães Juliane e Maria, que nunca mediram esforços para ajudar no que fosse preciso. Ao meu pai Sebastião, meu irmão Firmino e Leda, minha tia Denise e tio Gilmar, primas Gilmara e Samara. Sem eles, nada disso seria possível.

Agradeço a “equipe saúde do solo”, que desde do começo deste projeto esteve junto, auxiliando nas ideias e trabalhos de campo e laboratório, se tornando hoje, bons amigos: Ana Karina Beckert, Tamires Matias, Nelito Nhanca e, em especial, ao meu amigo e irmão Gregory Kruker, que foi o maior incentivador para minha iniciação no mestrado, e que sempre esteve presente nos momentos decisivos desse estudo.

Ao meu orientador Professor Dr. Álvaro Luiz Mafra, pela oportunidade, confiança e orientação nesses dois anos de pesquisa. À minha coorientadora Professora Dra. Júlia Carina Niemeyer, por todas as ideias, auxílio na orientação do trabalho e disponibilização dos materiais para o teste do *bait-lamina*.

Aos meus amigos e colegas de moradia, Eduardo Schabatoski, Gustavo Pereira e Vitor França, pela parceria, trocas de ideias e apoio nos momentos difíceis. Aos meus amigos e ex colegas de moradia, Lucas Parisotto, Guilherme Parisotto e Eduardo Borges Pereira, pela parceria de sempre e acolhimento em sua casa quando retornei para Lages no início do mestrado.

Ao Dr. Elston Kraft, por toda troca de ideias desde a elaboração do projeto, até a parte final do estudo. Por todas as trocas de experiências, mensagens e videochamadas realizadas durante esse período.

A todos os colegas do laboratório de Física e Manejo do Solo, pela troca de ideias e conhecimentos, ajuda nas coletas de campo e análises. Também aos colegas do laboratório de ecologia do solo, Thiago Ramos, Douglas Alexandre, Daniela Tomazelli, Prof. Dr. Luís Carlos Iuñes de Oliveira Filho e Prof. Dr. Osmar Klauberg-Filho, que sempre se mostraram dispostos a auxiliar nas análises e dúvidas recorrentes. Em especial ao Douglas e Dani que tiveram papel fundamental no auxílio da realização das análises estatísticas na reta final do trabalho.

Aos meus amigos Lucas Dilda, Luiz Felipe, Daiani Mafra e Genicelli Mafra, pela ajuda nas coletas de campo e triagem dos organismos.

Aos produtores rurais parceiros desse estudo, Pablo Baldin, Dionízio Filipini e Sergio Bento, por abrirem as portas e nos recepcionarem tão bem em suas áreas de produção, além de estarem sempre disponíveis para auxiliar com informações sobre históricos e manejos das áreas.

A todos os professores do departamento de Ciência do solo do CAV-UDESC, por todos os ensinamentos e aprendizados nas aulas. Também a todos os colegas do programa de pós-graduação em Ciência do solo, pelo convívio e troca de experiências.

À UDESC, por permitir a realização do Mestrado, e pelo ensino gratuito e de qualidade desde a graduação, até este momento. Também à CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Meu muito obrigado a todos!

RESUMO

A promoção da saúde do solo vem ganhando grande atenção devido a sua importância para manutenção da qualidade ambiental e para produção de alimentos. Nesse sentido, os sistemas de agricultura regenerativa apresentam-se como uma boa opção a ser adotada, por englobarem uma série de práticas de manejo conservacionistas e de base ecológica, melhorando atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Para avaliação da saúde do solo, a fauna edáfica se destaca como indicador de baixo custo, relativa praticidade de execução e, muitas vezes, com respostas mais rápidas às alterações do ambiente. O objetivo do estudo foi compreender a influência que o tempo de condução de manejos agrícolas regenerativos em sistemas subtropicais de produção de grãos exerce sobre a fauna edáfica. Foram selecionadas três unidades de sistemas regenerativos de produção de grãos (SRPG) comerciais na região sul do Brasil, com uma cronosequência de implantação dos manejos regenerativos (4, 6 e 30 anos). Destas, duas se localizam em Santa Catarina (Campos Novos e Zortéa) (SRPG30 e SRPG4) e uma no Rio Grande do Sul (Vacaria) (SRPG6). Além dos SRPG, em cada unidade de produção também foram avaliadas áreas de mata nativa (MN), usadas como referência de saúde do solo para cada sistema. Para as amostragens, foi estabelecida uma grade de 3 x 3 pontos, com espaçamento de 30 m entre si e 20 m da bordadura. A fauna foi amostrada pelo método *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF) e sua atividade alimentar avaliada por *bait-lamina*, na primavera e no outono. Também foram coletadas amostras da serapilheira e de solo para determinação dos atributos físicos e químicos, que foram usados como variáveis explicativas. Os resultados foram submetidos a análise de variância, seguida de teste de comparação de médias de Fisher (LSD) a 5 % de probabilidade. Também foram realizadas análises de componentes principais (ACP), de redundância (RDA), correlações canônicas (CCA) e correlação de Spearman. Os resultados das comparações entre cada SRPG e MN referência, demonstraram diferença significativa na primavera, entre o SRPG4 e respectiva MN, para as variáveis abundância, Riqueza média e índice de H', e entre o SRPG6 e respectiva MN no outono, para variável riqueza média, sendo em todos casos, os maiores valores encontrados nas MNs. Na comparação entre o SRPG30 e o SRPG4 observou-se tendência de maior abundância da fauna edáfica no sistema mais antigo, de 30 anos. Na ACP, não houve separação clara entre os sistemas avaliados. As análises de RDA (primavera), CCA (outono) e de correlação de Spearman, demonstraram haver relações significativas entre as variáveis físicas e químicas do solo e a distribuição dos grupos e atividade alimentar da fauna edáfica. A abundância de oligochaetas foi significativamente maior no SRPG30, quando comparada com o SRPG4. O grupo funcional dos engenheiros do ecossistema teve maior abundância relativa em todas as áreas avaliadas, enquanto que os predadores tiveram maior ocorrência nos SRPG. A taxa de atividade alimentar apresentou valores significativamente maiores nas áreas de SRPG, em relação as MN, e também maior taxa para o SRPG30, em comparação ao SRPG4. Em geral, o SRPG30 se destacou dos demais SRPG, apresentando maior abundância, diversidade e atividade alimentar da fauna edáfica. Os resultados desse estudo contribuem para evidenciar benefícios que os sistemas agrícolas regenerativos podem exercer sobre a biodiversidade do solo e, conseqüentemente, sobre sua saúde.

Palavras-chave: Saúde do solo; Biologia do solo; Sistema conservacionista.

ABSTRACT

The promotion of soil health has gained great attention due to its importance for maintaining environmental quality and for food production. In this sense regenerative agriculture systems are made as a good option to be adopted, for encompassing a series of conservationist and ecologically based management practices, physical, chemical and biological attributes of the soil. For the assessment of soil health and quality, the edaphic fauna stands out as an indicator of low cost, relative practicality of execution and often with faster responses to changes in the environment. The objective of the study was to understand the influence that the time of conduction of regenerative agricultural managements in subtropical grain production systems exerts on the edaphic fauna. Three units of commercial regenerative grain production systems (SRPG) in southern Brazil were selected, with a chronosequence of implementation of regenerative managements (4, 6 and 30 years). Of these two are located in Santa Catarina (Campos Novos and Zortéa) (SRPG30 and SRPG4) and one in Rio Grande do Sul (Vacaria) (SRPG6). In addition to the SRPG areas of native forest (MN) were also evaluated in each production unit, used as a soil health reference for each system. For sampling, a degree of 3 x 3 points was established, with spacing of 30 m between them, and 20 m from the border. The fauna was sampled by the Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) method and feeding activity evaluated by Bait-lamina test, being sampled in spring and at autumn. Litter and soil samples were also collected for determining the physical and chemical attributes, which were used as explanatory variables. The results were examined by analysis of variance, followed by Fisher's Means Comparison Test (LSD) at 5% probability. Principal component analysis (PCA), redundancy analysis (RDA), canonical correlations (CCA) and Spearman correlation were also analyzed. The results of the comparisons between each SRPG and MN reference showed a significant difference in the spring, between the SRPG4 and its MN for the variables abundance, average richness and H' index, and between the SRPG6 and its MN in the autumn for the variable average richness, being in all cases the highest values found in MNs. In the comparison between the SRPG30 and the SRPG4 a trend towards greater abundance of soil fauna was observed in the older system which was 30 years old. In the ACP there was no clear separation between the systems appreciated. The RDA (spring), CCA (autumn) and Spearman's correlation analyzes showed that there are significant relationships between the physical and chemical variables of the soil and the distribution of groups and feeding activity of the edaphic fauna. The abundance of oligochaetes was significantly higher in SRPG30 when discovered with SRPG4. The functional group of ecosystem engineers had greater relative abundance in all evaluated areas, while predators had a greater occurrence in SRPG. The feeding activity rate showed significantly higher values in the SRPG areas, in relation to the MN, and also a higher rate for the SRPG30 compared to the SRPG4. In general the SRPG30 stood out from the others SRPG showing greater abundance, diversity and feeding activity of the edaphic fauna. The results of this study contribute to highlight the benefits that regenerative agricultural systems can have on soil biodiversity and on soil health.

Keywords: Soil health; Soil biology; Conservation system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, indicando os municípios onde ficam localizadas as unidades de produção agrícola estudadas: Campos Novos/SC, Zortéa/SC e Vacaria/RS.	30
Figura 2 – Precipitação (mm), temperatura máxima, média e mínima (°C) durante os períodos de amostragem na região de Zortéa e Campos Novos/SC (a) e Vacaria/RS (b). Dados da Epagri/Ciram (estação meteorológica de Zortéa - Linha Pouso Alto), e INMET (estação meteorológica de Vacaria).	33
Figura 3 – Esquema do desenho amostral e tipo de amostragens realizadas nas áreas de SRPG4, SRPG6, SRPG30 e suas respectivas áreas de MN referência, em Santa Catarina e no Rio grande do Sul, Brasil.	35
Figura 4 – Análise de componentes principais (ACP) na primavera (a) e outono (b), entre os grupos da fauna edáfica e as áreas de sistema regenerativo de produção de grãos (SRPG) com diferentes idades (4, 6 e 30 anos) e suas matas nativas (MN) referência. Nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, Brasil. Araneae (Ar); Blattodea (Bla); Chilopoda (Chi); Coleoptera (Col); Dermaptera (Der); Diplopoda (Dip); Diptera (Dipt); Formicidae (Form); Gastropoda (Gas); Gryllidae (Gry); Hemiptera (Hem); Hymenoptera (Hym); Hyrudinea (Hyr); Isopoda (Iso); Isoptera (Isopt); larva Coleoptera (L.Col); larva Diptera (L.Dipt); Lepidóptera (Lep); Oligochaeta (Oli); Pseudoscorpionida (Pse). Componente principal 1 (CP1); Componente principal 2 (CP2).	45
Figura 5 – Análise de redundância, na primavera (a) e análise de correlações canônicas, no outono (b), entre os grupos da fauna edáfica e as variáveis físicas e químicas do solo, nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, Brasil. Araneae (Ar); Blattodea (Bla); Chilopoda (Chi); Coleoptera (Col); Dermaptera (Der); Diplopoda (Dip); Diptera (Dipt); Formicidae (Form); Gastropoda (Gas); Gryllidae (Gry); Hemiptera (Hem); Hymenoptera (Hym); Hyrudinea (Hyr); Isopoda (Iso); Isoptera (Isopt); larva Coleoptera (L.Col); Larva Diptera (L.Dipt); Lepidóptera (Lep); Oligochaeta (Oli); Pseudoscorpionida (Pse). Potássio (K); porosidade total (PT); resistência à penetração (RP); cálcio (Ca); diâmetro médio ponderado (DMP); bioporos (Bio); potencial hidrogeniônico em sal (CaCl ₂) (pH). Componente principal 1 (CP1); componente principal 2 (CP2).	48
Figura 6 – Abundância relativa dos grupos funcionais da fauna edáfica amostrados por TSBF nos sistemas regenerativos de produção de grãos (SRPG) com diferentes idades (4, 6 e 30 anos)	

e suas matas nativas referência (MN), na primavera de 2021 (a) e outono de 2022 (b), nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, Brasil. 55

Figura 7 – Taxa de consumo alimentar por Bait-lamina test, entre todos os SRPG e suas respectivas MN referência. (a = SRPG4 x MN na primavera e outono; b = SRPG6 x MN na primavera e outono; c = SRPG30 x MN na primavera e outono). Nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, Brasil. 59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização e histórico de manejo das áreas de Sistema Regenerativo de Produção de grãos (SRPG), nos municípios de Campos Novos/SC, Zortéa/SC e Vacaria/RS, Brasil. ...	32
Tabela 2 – Teores médios e coeficiente de variação (CV) de pH em cloreto de cálcio (pH CaCl ₂), fósforo (P), potássio (K), alumínio (Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), carbono orgânico total (COT), resistência à penetração (RP), diâmetro médio ponderado (DMP), densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), bioporos (Bio), macroporos (Macro), microporos (Micro), umidade gravimétrica, argila e massa seca da serapilheira na primavera e outono, nos sistemas regenerativos de produção de grãos com diferentes tempos de manejo regenerativo (SRPG4, SRPG6 e SRPG30) e suas matas nativas (MN) referência, nos municípios de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, Brasil.	38
Tabela 3 – Riqueza média, abundância (Indivíduos por metro quadrado (Ind. m ⁻²)) e índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') dos grupos da fauna edáfica amostrados por monólitos de solo (TSBF), nos sistemas regenerativos de produção de grãos (SRPG) com diferentes idades (4, 6 e 30 anos) e suas matas nativas referência (MN), na primavera de 2021 e outono de 2022, nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, Brasil.	42
Tabela 4 – Correlação de Spearman entre as variáveis ambientais e a atividade alimentar e grupos da fauna edáfica, para todas as áreas avaliadas (SRPG de 4,6 e 30 anos + MNs referências) e as duas épocas de amostragem (primavera + outono). Nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, Brasil.	50
Tabela 5 – Abundância média de Oligochaetas (Indivíduos/m ²) amostradas por TSBF nos Sistemas regenerativos de produção de grãos (SRPG) com diferentes idades (4, 6 e 30 anos) e suas matas nativas referência (MN), na primavera de 2021 e outono de 2022, nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, Brasil.	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	22
1.1 HIPÓTESES	24
1.2 OBJETIVO GERAL	24
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
2 REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1 SISTEMAS REGENERATIVOS DE PRODUÇÃO E A SAÚDE DO SOLO	25
2.2 FAUNA EDÁFICA E OS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	30
3.2 AMOSTRAGENS	34
3.2.1 Fauna edáfica	35
3.2.2 Atributos físicos e químicos	36
3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 ABUNDÂNCIA E DIVERSIDADE DA FAUNA EDÁFICA	41
4.2 RELAÇÃO DA FAUNA EDÁFICA COM ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO	46
4.3 ABUNDÂNCIA DE OLIGOCHAETAS	52
4.4 ABUNDÂNCIA RELATIVA DE GRUPOS FUNCIONAIS DA MACROFAUNA EDÁFICA	54
4.5 ATIVIDADE ALIMENTAR DA FAUNA EDÁFICA (<i>BAIT-LAMINA TEST</i>)	57
5 CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS	63
APÊNDICES	70

1 INTRODUÇÃO

O cenário atual de aumento da demanda mundial por alimentos e agravamento de mudanças climáticas, traz grandes desafios para o setor agrícola, público e científico. Neste contexto, a qualidade e saúde do solo vêm ganhando crescente atenção, visto que a conservação da qualidade desse recurso é crucial para produtividade e sustentabilidade dos agroecossistemas (MOEBIUS-CLUNE et al., 2017; BÜNEMANN et al., 2018).

O conceito de qualidade do solo amplamente usado e conhecido é o de Doran e Parkin (1994), que o definem como “a capacidade de um solo de funcionar dentro dos limites do ecossistema e do uso da terra para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde vegetal e animal”. Já, a saúde do solo, é conceituada com base no seu aspecto vivo, e na sua capacidade contínua de sustentar o crescimento de plantas e manter suas funções ambientais (PANKHURST et al., 1997).

Esses conceitos remetem para a importância do aspecto biológico do solo, e de como é preciso ter uma visão holística para com sua qualidade, avaliação e manejo. O solo é reconhecido como o maior reservatório de biodiversidade do planeta, abrigando cerca de um quarto da diversidade total (VELASQUEZ et al., 2019), contendo espécimes de tamanho macroscópicos, como minhocas e artrópodes, e de tamanho microscópico, como fungos e bactérias. Estima-se que em um único grama de solo pode conter até um bilhão de células de bactérias, com dezenas de milhares de espécies (FAO, 2020).

Tanto os micro, quanto os macrorganismos do solo, assumem papel crucial no bom funcionamento dos ecossistemas, realizando funções relacionadas ao suporte de produtividade e regulação climática. Os pertencentes à fauna edáfica, em especial, se destacam, como agentes nesses serviços, atuando direta ou indiretamente na ciclagem de nutrientes, decomposição e distribuição de matéria orgânica ao longo do perfil do solo, na melhoria da estrutura física e no fluxo de água, controle biológico natural, entre outros (LAVELLE, 1996).

Quando nos referimos a áreas de produção agrícola, a dinâmica do solo é alterada pelas práticas de preparo e cultivo implementadas, interferindo e modificando propriedades físicas, químicas e biológicas do mesmo (ALVES et al., 2006). Conforme Bedano et al. (2021) a biodiversidade dos agroecossistemas vem sofrendo forte ameaça devido a adoção de práticas inadequadas de manejo, as quais são amplamente usadas no mundo. O grau de modificações que ocorrem no solo depende da intensidade e do tipo de prática ou manejo que é utilizado. Manejos integrativos e de cunho conservacionista, como o não revolvimento do solo, manutenção de cobertura vegetal e uso de insumos de origem biológica ou natural, são

exemplos de práticas agrícolas que diminuem o impacto negativo sobre a sua qualidade e saúde (FOLEY et al., 2011). Por outro lado, práticas como a mobilização frequente e uso intensivo de insumos químicos, podem causar maior impacto sobre o solo e sobre sua biodiversidade (BEDANO et al., 2021).

Nesse sentido, tem se buscado cada vez mais a adoção de sistemas de produção agrícola sustentáveis, que consigam conciliar a produtividade com a conservação do solo e da natureza. No Brasil, o maior exemplo é o sistema plantio direto (SPD), que tem como princípios básicos o mínimo revolvimento do solo (apenas na linha de semeadura), manutenção de cobertura do solo, viva ou morta, e diversificação de culturas cultivadas (PECHE FILHO, 2005). Estes princípios (práticas de manejo), quando seguidos de forma criteriosa possuem grandes benefícios para a saúde do solo, bem como para o suporte dos serviços ecossistêmicos. Contudo, segundo Bartz (2021), atualmente no Brasil cerca de 33 milhões de hectares estão sob plantio direto (PD), porém menos de 10% desses, cumprem os três princípios básicos do SPD.

Outro conceito de sistema de produção sustentável que vem ganhando força a nível mundial é o da agricultura regenerativa (AR), sendo listado como “prática de manejo sustentável do solo” no relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) da ONU em 2019 (IPCC, 2020). Este sistema está baseado, principalmente, na restauração da saúde do solo por meio de manejos integrativos e redução no uso insumos químicos (DAVERKOSEN et al., 2022) e, assim como o SPD, visa a menor intervenção e proteção do solo e de sua biodiversidade.

Para se avaliar a qualidade ou saúde do solo podem ser utilizados uma série de indicadores, envolvendo atributos físicos, químicos e biológicos, sendo que um bom indicador deve estar relacionado com alguma função específica dentro do sistema, ser sensível a distúrbios, de fácil replicação e com custo relativamente baixo (ANDREWS et al., 2004). Os indicadores biológicos são gerados através da mensuração e identificação de organismos vivos, indicando, através da presença ou ausência, abundância e/ou diversidade, o estado de degradação ou conservação de um solo (OLIVEIRA et al., 2016).

Dentre os indicadores biológicos, a fauna edáfica destaca-se por sua relativa simplicidade de avaliação, baixo custo e, em muitos casos, uma resposta mais rápida às alterações que as práticas agrícolas geram ao solo (BARETTA et al., 2003; VELASQUEZ et al., 2019). E, apesar do grande conhecimento científico já gerado no entendimento das relações das práticas agrícolas com a fauna do solo (ALVES et al., 2006; BARETTA et al., 2003; BARTZ et al., 2013; ROSA et al., 2015; ZORNOZA et al., 2015; POMPEO et al., 2016), ainda

se faz necessário pesquisas a nível regional sobre o tema, principalmente avaliando sistemas de produção regenerativos de longa duração.

1.1 HIPÓTESES

I- Sistemas de produção de grãos com manejos de base regenerativa, com maior tempo de condução, favorecem a atividade alimentar, abundância e diversidade da fauna do solo, bem como a abundância de Oligochaetas (minhocas);

II- Existe correlação entre os atributos físicos e químicos do solo e a atividade alimentar e grupos da fauna edáfica.

1.2 OBJETIVO GERAL

Compreender a influência que o tempo de condução de manejos agrícolas regenerativos em sistemas subtropicais de produção de grãos exerce sobre a fauna edáfica.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a atividade alimentar, abundância e diversidade da fauna do solo em áreas de sistemas regenerativos de produção e áreas de mata nativa, usadas como referência;
- Investigar quais grupos da fauna estão mais relacionados com os sistemas de produção agrícola e naturais;
- Identificar os principais atributos físicos e químicos do solo que estão relacionados com a distribuição da atividade alimentar e dos grupos da fauna edáfica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SISTEMAS REGENERATIVOS DE PRODUÇÃO E A SAÚDE DO SOLO

Nos dias atuais cresce a preocupação com os impactos que a intensificação da agricultura gera para o ambiente, sendo ela a principal atividade causadora da mudança no uso do solo no planeta (SEARCHINGER et al., 2019). A chamada agricultura moderna tem como base a monocultura em larga escala e intensificação do uso de mecanização e insumos químicos, como fertilizantes e agrotóxicos. E, apesar dos resultados positivos na alimentação de uma população mundial crescente, traz consigo diversos problemas sociais e ambientais (HLPE, 2016).

Entre os principais problemas que a “agricultura moderna” causa, estão os ambientais: esgotamento de nutrientes do solo, erosão, contaminação e perda de recursos hídricos e perda da biodiversidade; e os sociais: trabalho abusivo, contaminação humana por agrotóxicos e perda de práticas agrícolas tradicionais (AYTENNEW, 2021). Somada a isso, a gestão inadequada do uso da terra e das práticas de manejo, potencializam os impactos negativos gerados pela agricultura, principalmente sobre o solo, que é o recurso base, e talvez o mais importante, de qualquer agroecossistema. Segundo Telles et al. (2019), aproximadamente 40% dos solos cultivados no mundo estão sob severa degradação.

Nesse sentido, o uso de práticas de manejo conservacionistas, de base ecológica, que sejam focadas principalmente na proteção do solo, se faz necessário para garantir a construção de sistemas agroalimentares mais saudáveis e resilientes. O maior exemplo no Brasil é o sistema plantio direto, que se destaca como marco da conservação do solo e da sustentabilidade, tendo seus princípios (mínimo revolvimento do solo, cobertura permanente do solo e diversificação de culturas) como base para outros sistemas de agricultura conservacionista (FAO, 2016).

Dentre as denominações de sistemas agrícolas baseados em práticas ecológicas, a agricultura regenerativa (AR) vem ganhando destaque nos últimos anos entre a comunidade científica, agricultores e políticos (NEWTON et al., 2020). Esse sistema engloba todos os princípios conservacionistas básicos do sistema plantio direto, adicionando outros princípios, como a utilização de recursos locais e biológicos e diminuição do uso de insumos químicos (FRANCIS et al., 1986). O termo agricultura regenerativa foi citado pela primeira vez por Robert Rodale (1983), e padronizada por Harwood (1983). Esses autores idealizaram o sistema com objetivo de melhorar a saúde do solo por meio de técnicas baseadas na agricultura orgânica.

Apesar do termo agricultura regenerativa ser relativamente antigo, e possuir reconhecimento pela comunidade científica e política (IPCC, 2020; RHODES, 2017; LAL, 2020; SCHREEFEL et al., 2020), não existe uma definição universal aceita desse termo. Newton et al. (2020), ao avaliarem 229 trabalhos científicos com o termo agricultura regenerativa, evidenciaram uma diversidade de definições e caracterizações referindo-se a esse sistema. Os mesmos autores ainda classificam a origem das diferentes definições encontradas para AR como baseadas em processos- como o mínimo revolvimento do solo, diversificação de culturas e cobertura do solo- e em resultados- como exemplo a promoção da saúde do solo, sequestro de carbono e manutenção da biodiversidade. No fim, esses autores recomendam, devido a variedade de conceitos existentes, que cada usuário do termo, o conceitue levando em consideração o contexto que se está inserido e objetivos buscados.

Diante disso, pode-se assumir que várias das práticas da agricultura regenerativa já são utilizadas em larga escala no Brasil, apesar de haver poucos estudos usando esse termo, especificamente. Dentre os poucos trabalhos regionais que usaram esse termo, pode-se citar o de Machado & Rhoden (2021) que, ao compararem um sistema de agricultura regenerativa com outro de plantio direto na região oeste de Santa Catarina, evidenciaram maior índice de vegetação, menor densidade e infiltração de água no solo e maior disponibilidade de fósforo e potássio nas áreas com agricultura regenerativa.

Outro trabalho recente que usou esse termo foi de Vianna (2022), que realizou análise bibliométrica das publicações da Empresa de Pesquisa e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), entre 1972 e 2021. Nesse estudo foram identificadas 15.841 publicações, sendo 67% científicas. Vianna destaca que o foco das pesquisas realizadas pela empresa até os anos 1990 foi principalmente relacionada a aspectos agrônômicos e de aumento da produtividade das culturas. O autor ressalta que dos anos 90 em diante começou-se a dar mais atenção ao componente ambiental, como aspectos relacionados à conservação do solo e da água. Como conclusões, o pesquisador ressalta que as novas demandas da agricultura no estado envolvem tornar os sistemas produtivos viáveis econômica, social e ambientalmente, apontando a agroecologia e agricultura regenerativa como frentes de pesquisa promissoras para tal fim.

Os princípios básicos que regem esse sistema são vistos com grande potencial para o enfrentamento dos desafios da agricultura a nível regional e mundial, como a insegurança alimentar, mudanças climáticas e degradação dos recursos naturais (TAN & KUEBBING, 2023; JORDAN et al., 2022; IPCC, 2020). Nos sistemas regenerativos de produção, a conservação e promoção da saúde do solo são o ponto central, contribuindo em diversos

serviços ecossistêmicos que auxiliam na manutenção da saúde do ambiente e no aumento da produtividade, potencializando assim seus benefícios (SCHREEFEL et al., 2020).

No melhoramento da saúde do solo, a diversificação de culturas é essencial. Ao cultivar diferentes espécies de plantas em um mesmo sistema agrícola, ocorre melhorias na estrutura do solo, na fixação de nitrogênio e na ciclagem de nutrientes e reduz-se a propagação de doenças e pragas específicas de determinada cultura. Além disso, a diversidade de plantas atrai maior variedade de organismos benéficos, como insetos polinizadores e predadores naturais de pragas, contribuindo para o equilíbrio ecológico do agroecossistema (SCHIEBELBEIN et al., 2022).

As técnicas de conservação do solo, como o plantio direto, a cobertura vegetal e a utilização de compostagem, também são fundamentais para a saúde do solo. Essas práticas ajudam a reduzir a erosão, melhorar a infiltração de água, aumentar os teores de matéria orgânica e da biodiversidade, além de favorecer a retenção de nutrientes no solo (FAO, 2016). Outra prática importante é o manejo integrado de pragas e doenças, que prioriza abordagens preventivas e o uso de agentes naturais de controle. Em vez de depender exclusivamente de pesticidas químicos, os agricultores regenerativos adotam estratégias como o controle biológico e a utilização de compostos orgânicos e microrganismos eficientes para fortalecer a resistência das plantas e, ao mesmo tempo, proteger a biodiversidade do solo (ZANUNCIO JUNIOR et al., 2018; BETTIOL, 2008).

Estudos como o de Fenster et al. (2021) demonstram que, quando comparados a sistemas convencionais de produção, os sistemas de agricultura regenerativa melhoram significativamente a infiltração de água no solo, teor de carbono orgânico total, teores de nutrientes como nitrogênio, cálcio e potássio, biomassa microbiana, riqueza e biodiversidade de invertebrados e abundância e biomassa de minhocas. Os autores enfatizam que esses resultados são gerados através da sinergia do conjunto de práticas de manejo realizado nesses sistemas. SINGH et al. (2023) avaliaram sistemas regenerativos de produção com diferentes idades (≤ 3 anos e > 5 anos), e evidenciaram que com o passar dos anos de implementação das práticas de manejo, ocorre aumento da diversidade de microrganismos benéficos e maior aporte de nutrientes e carbono orgânico no solo.

Esses resultados enfatizam o efeito das práticas de manejo regenerativo na promoção da saúde do solo e sua biodiversidade. Ao mesmo tempo, estudos como os de Aytenew (2021) sugerem que a biodiversidade do solo caracteriza-se como impulsionadora dos sistemas regenerativos, atuando, através dos serviços ecossistêmicos, no aumento da produtividade e promoção da saúde do solo e do meio ambiente como um todo.

Dito isso, fica evidente a importância das práticas regenerativas de manejo agrícola para o estabelecimento de sistemas produtivos mais saudáveis, produtivos e resilientes, tendo como base a conservação do solo e promoção da biodiversidade que, ao mesmo tempo, atua como potencializadora da saúde dos agroecossistemas.

2.2 FAUNA EDÁFICA E OS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

A fauna do solo compreende os invertebrados que passam toda ou parte de sua vida no solo, possuindo grande variedade morfológica e funcional. A classificação mais amplamente utilizada desses organismos pelos pesquisadores é quanto ao diâmetro do corpo, sendo classificados em: microfauna (menores que 0,2 mm), mesofauna (entre 0,2 e 2,0 mm) e macrofauna (maiores que 2,0 mm) (SWIFT et al., 1979). Outra classificação que pode ser feita é quanto à funcionalidade desses organismos. Segundo Lavelle (1997) os invertebrados do solo podem ser classificados em: engenheiros do ecossistema, decompositores e predadores.

A microfauna é formada por animais de tamanho microscópico e incluem nematoides, rotíferos e tardígrados. Esses organismos possuem ciclo de vida rápido e vivem em lâminas de água no solo, alimentando-se essencialmente de raízes de plantas, de outros animais (parasitas/predadores) e microrganismos (fungos, bactérias, protozoários, actinomicetos, algas) (BROWN et al., 2015). Os tardígrados e rotíferos são organismos relativamente pouco estudados no solo e, juntamente com os nematoides de vida livre, desempenham função de ciclagem de nutrientes (através da ingestão de fungos e bactérias) e controle de populações de microrganismos no solo (LAVELLE, 1997).

A mesofauna é composta pela maior parte dos invertebrados que habitam o solo, sendo os ácaros (Acari) e colêmbolos (Collembola) os grupos mais numerosos, mas também fazem parte diplura, protura, enquitreídeos, sínfilos e pseudo-escorpiões. Além desses, outros organismos normalmente pertencentes à macrofauna, tais como alguns microcoleópteros, pequenas formigas e larvas de insetos, algumas vezes são relatados como mesofauna. Esses organismos participam ativamente da decomposição da serapilheira, fragmentando-a e, deste modo, aumentando a área de superfície para o ataque dos microrganismos (BROWN et al., 2017). Além dessas funções, os indivíduos pertencentes à mesofauna ainda fazem o controle da microfauna e das populações de microrganismos, liberando nutrientes para o solo (HEISLER & KAISER, 1995).

Os organismos pertencentes a macrofauna abrangem mais de 20 grupos taxonômicos, dentre eles: formigas, cupins, minhocas, baratas, escorpiões, centopeias, aranhas, tesourinhas, grilos, caracóis, piolhos de cobra, percevejos, cigarras, tatuzinhos, traças, larvas de mosca e de mariposas, larvas e adultos de besouros e outros animais, que podem ser consumidores de partes vivas de plantas (fitófagos), solo (geófagos), matéria orgânica do solo (humívoros), madeira (xilófagos), serapilheira (detritívoros), raízes (rizófagos), outros animais (predadores, parasitas, necrófagos) e fungos (fungívoros) (BROWN et al., 2001).

Dentro do grupo da macrofauna, em especial os cupins, as minhocas, as formigas, os besouros escarabeídeos e as milipéias são também denominados de “engenheiros do ecossistema” devido à função que desempenham na modificação e melhoria da estrutura física do solo, pela formação de estruturas biogênicas como galerias, ninhos, câmaras e bolotas fecais (LAVELLE, 1997; BROWN et al., 2001). Além disso, os “engenheiros do ecossistema” ainda possuem interação com os microrganismos do solo, criando microhabitats (estruturas biogênicas), e também selecionando e ativando a microbiota por meio de moléculas de sinalização carregadas de energia, que servem como mediadores ecológicos de processos de engenharia biológica no solo, estimulando o processo de degradação, síntese ou absorção de substratos orgânicos específicos (LAVELLE et al., 2016).

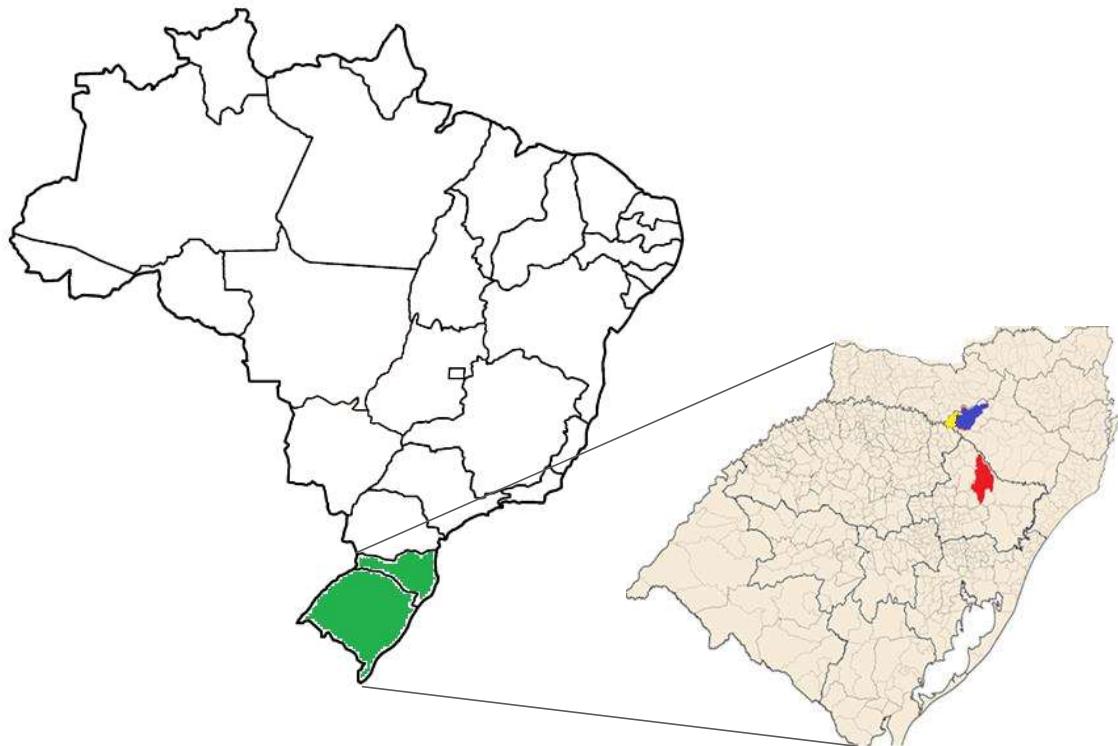
Como visto, a fauna edáfica desempenha funções ecológicas vitais, tanto em sistemas naturais quanto agrícolas. Muitas dessas funções são potencializadas pela interação entre os vários organismos que compõem a fauna, podendo variar de efeito sobre a regulação de regimes hídricos, estrutura do solo, ciclagem de nutrientes, decomposição, degradação de poluentes, sequestro de carbono, emissão de gases do efeito estufa e na proteção e desenvolvimento vegetal (RUIZ et al., 2008). Tendo em vista as diferentes atribuições da fauna edáfica, sua ampla distribuição geográfica e sensibilidade aos distúrbios ambientais, esses organismos são considerados importantes indicadores de qualidade e saúde do solo (OLIVEIRA-FILHO e BARETTA, 2016; D’HOSE et al., 2018).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

O presente estudo foi conduzido em três unidades de produção agrícola comerciais localizadas na região sul do Brasil, sendo duas no estado de Santa Catarina, nos municípios de Campos Novos e Zortéa, e uma no Rio Grande do Sul, no município de Vacaria (Figura 1). Os sistemas selecionados compreendem sistemas de agricultura regenerativa (GILLER et al., 2021; NEWTON et al., 2020), onde manejos integrativos e de base ecológica são praticados, podendo-se destacar o sistema plantio direto (SPD), redução no uso de fertilizantes químicos e agrotóxicos e utilização de insumos orgânicos e biológicos (Tabela 1). As unidades de produção, entre si, possuem variação no tempo de condução desses manejos regenerativos: 4 anos para unidade de Zortéa (SRPG4), 6 anos para de Vacaria (SRPG6) e 30 anos para de Campos Novos (SRPG30) (Tabela 1).

Figura 1 – Mapa dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, indicando os municípios onde ficam localizadas as unidades de produção agrícola estudadas: Campos Novos/SC, Zortéa/SC e Vacaria/RS.



Legenda: = Zortéa/SC; = Campos Novos/SC; = Vacaria/RS.

Fonte: o autor, 2023.

Além das áreas agrícolas foram avaliadas áreas de mata nativa (MN), usadas como referência de saúde do solo. Para cada área de sistema regenerativo de produção de grãos (SRPG) foi amostrado uma área de MN adjacente (Apêndice A). Nas unidades de Campos Novos e Zortéa, as áreas de MN estão distanciadas 40 m de cada área agrícola amostrada. Já, na unidade de Vacaria, a MN referência teve que ser amostrada a 1000 m de distância da área agrícola, devido a não existir MN com dimensões consideráveis mais próxima que isso. As áreas de MN compreendem fragmentos de Mata Atlântica (Floresta Ombrófila Mista). Dentre os fragmentos de mata nativa, apenas a MN referência de Vacaria (SRPG6) possui interferência antrópica, com circulação esporádica de bovinos.

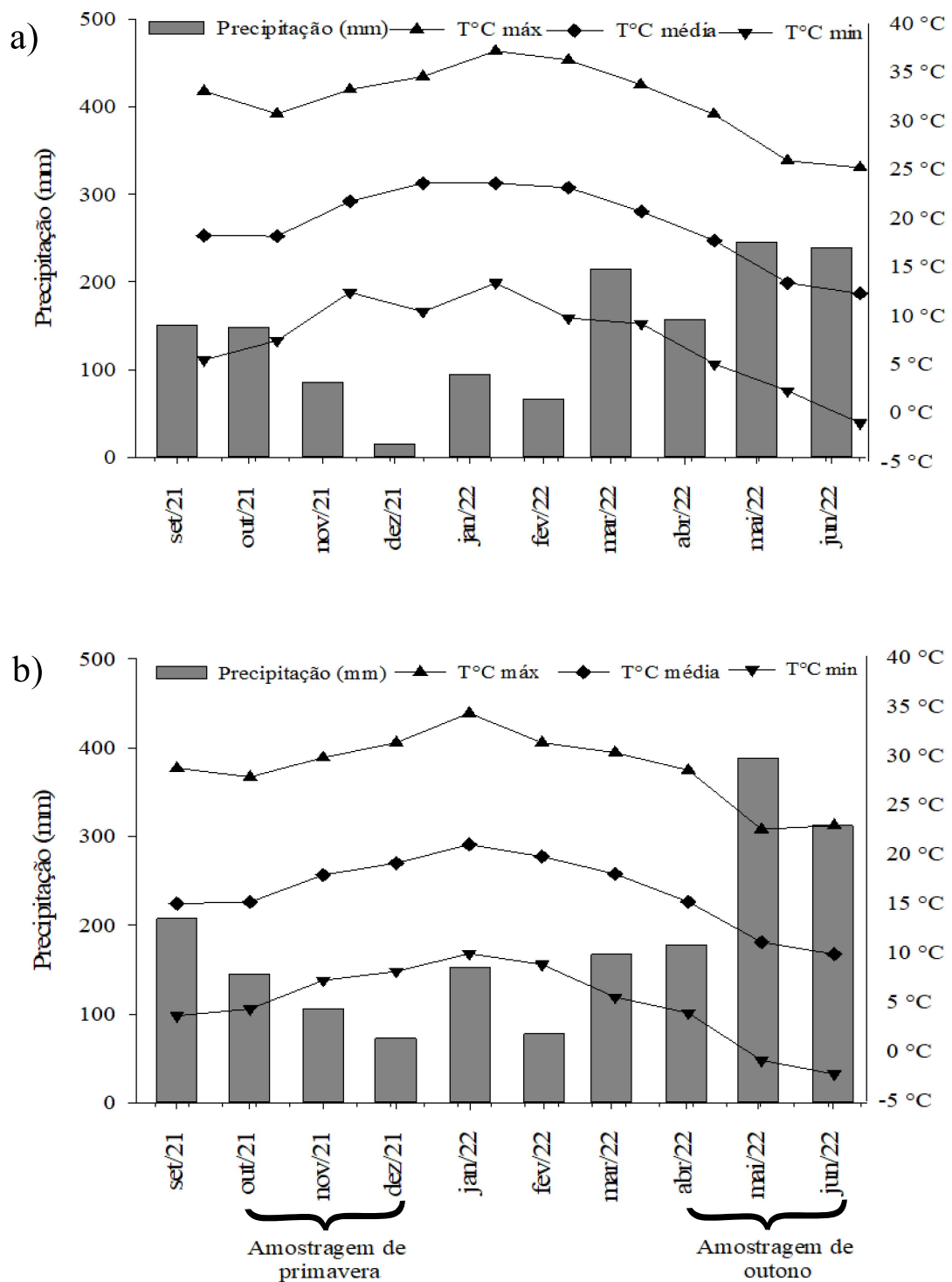
O clima das regiões estudadas é classificado, segundo Köppen, como Cfb com verão ameno, temperatura média anual de 17 °C e chuvas bem distribuídas ao longo do ano, com precipitação média anual de 1.550 mm (ALVARES et al., 2013). O relevo é levemente ondulado com altitude de 865 m na unidade de Vacaria, 794 m na unidade de Campos Novos e 774 m na de Zortéa. O tipo de solo nas regiões estudadas é classificado como Latossolo Bruno (EMBRAPA e IBGE, 2001). Mais informações sobre coordenadas geográficas e histórico das áreas podem ser observadas na Tabela 1. Dados meteorológicos do período das coletas foram obtidos da Empresa de Pesquisa e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI/CIRAM) (estação meteorológica da Linha Pouso Alto – Zortea/SC) (Figura 2 – a) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (estação meteorológica de Vacaria/RS) (Figura 2 – b).

Tabela 1 – Caracterização e histórico de manejo das áreas de Sistema Regenerativo de Produção de grãos (SRPG), nos municípios de Campos Novos/SC, Zortéa/SC e Vacaria/RS, Brasil.

Área	Cordenadas geográficas	Altitude	Tipo de solo	Histórico pré implantação do sistema atual	Anos sem revolvimento do solo	Adubação orgânica	Adubação química	Diversidade de plantas cultivadas	Produtos químicos utilizados nos últimos anos	Manejes e insumos alternativos utilizados nas áreas nos últimos anos	Média de produtividade dos últimos anos
SRPG4 (Zortéa/SC)	27°26'16.3"S 51°27'13.3"W	774 m	Latossolo 62% argila	Plantio direto desde de 1989.	26 anos	Cama de aves - média de 6 t/ha/ano.	Não	Milho, soja, feijão e trigo; mix de cobertura (aveia branca, centeio, ervilhaca, nabo forrageiro e ervilha forrageira).	Bentazona, atrazina, simazina, glifosato e cletodim.	Pó de rocha (4t/ha a cada três anos); Microorganismos eficientes nativos; <i>Bacillus subtilis</i> ; <i>Bacillus pumilus</i> ; <i>Beauveria bassiana</i> ; <i>Metarhizium</i> ; extrato pirolenhoso (0,5-1%); Técnica de radionica; Geobiologia (radiestesia); Homeopatia.	Milho = 135 scs/ha; Soja = 62 scs/ha; Feijão = 42 scs/ha; Trigo = 50 scs/ha.
SRPG6 (Vacaria/RS)	28°35'33.9"S 51°02'05.4"W	865 m	Latossolo 50% argila	Plantio direto desde de 1995. Integração com pecuária até 2017.	16 anos	Cama de aves - média de 3 t/ha/ano.	Sim	Soja, milho, trigo, aveia; mix de cobertura (ervilhaca, aveia Branca, aveia Preta, nabo forrageiro, centeio).	Glifosato, cletodim, glufosinato de amônia, metsulfuron metyl, algumas atrazinas, diquat e triazóis, diflubenfuron, diquat, espinosidas, acetamipridos, neonicotinóides.	<i>Bacillus spp</i> ; <i>Trichoderma</i> ; Cromobactéria; <i>Azospirillum</i> ; <i>Pseudomonas spp</i> .	Milho = 150 scs/ha; Soja = 60 scs/ha; Trigo = 60 scs/ha; Aveia branca (grão) = 3000 kg/ha.
SRPG30 (Campos Novos/SC)	27°29'34.9"S 51°26'35.8"W	794 m	Latossolo 48% argila	Plantio direto desde 2005, com adubações orgânicas esporádicas	32 anos	Cama de aves - média de 7,8 t/ha/ano.	Não	Milho, soja, trigo; mix de cobertura (aveia branca, aveia preta, centeio, ervilhaca, nabo forrageiro e ervilha forrageira).	Paraquat, fomesafen, atrazina, simazina, tembotriona.	Fosfato natural reativo (600kg/ha/ano); Pó de rocha (5t/ha a cada três anos); <i>Trichoderma</i> ; <i>Azospirillum</i> ; <i>Bacillus subtilis</i> ; <i>Bacillus thuringiensis</i> .	Milho = 170 scs/ha; Soja = 60 scs/ha; Trigo = 85 scs/ha.

Fonte: o autor, 2023.

Figura 2 – Precipitação (mm), temperatura máxima, média e mínima (°C) durante os períodos de amostragem na região de Zortéa e Campos Novos/SC (a) e Vacaria/RS (b). Dados da Epagri/Ciram (estação meteorológica de Zortéa - Linha Pouso Alto), e INMET (estação meteorológica de Vacaria).

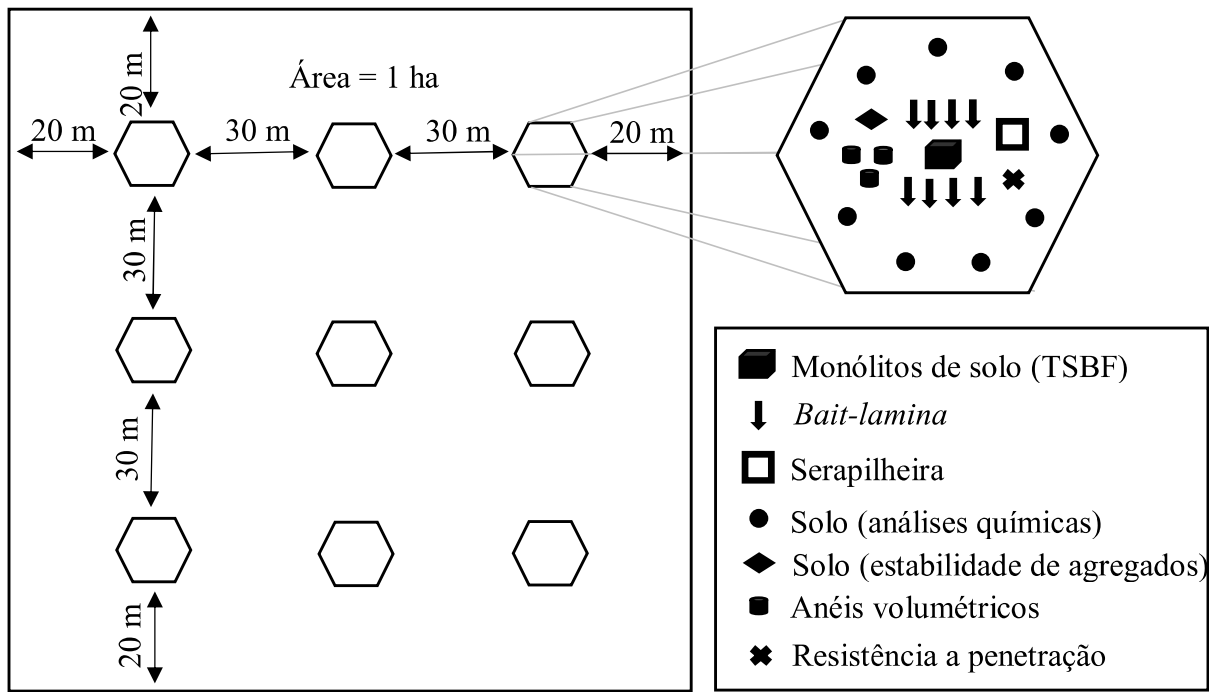


Fonte: o autor, 2023.

3.2 AMOSTRAGENS

As avaliações da fauna (*Bait-lamina* e TSBF) foram realizadas em duas épocas distintas, sendo a primeira entre os meses de outubro e dezembro de 2021 (primavera), quando as culturas da safra de verão estavam sendo implantadas ou em estágio inicial de desenvolvimento, sendo essas culturas, o milho, no caso das áreas de SRPG30 e SRPG6, e a soja, no caso da área de SRPG4. A segunda época de avaliação foi entre os meses de abril e junho de 2022 (outono), logo após a colheita das culturas de verão e pré-implantação das culturas de inverno, estando o solo apenas coberto pela palhada do cultivo de verão no momento das avaliações. A avaliação de resistência a penetração e amostragens de solo para análises físicas e químicas foram feitas apenas na primeira época de avaliação (primavera de 2021). Para estabelecimento do grid amostral foi selecionado, junto aos agricultores, um hectare representativo de cada área de estudo (SRPG e MN), dentro desse hectare foi estabelecido uma grade amostral em esquema de 3 x 3, com nove pontos distanciados 30 metros entre si, e 20 metros da bordadura. Em cada ponto foram escavados monólitos, expostas iscas para avaliação de atividade alimentar da fauna, mensurada a resistência a penetração do solo, coletada serapilheira, amostras de solo indeformadas (anéis volumétricos), semideformadas (Estabilidade de agregados) e amostras deformadas para as análises químicas (Figura 3).

Figura 3 – Esquema do desenho amostral e tipo de amostragens realizadas nas áreas de SRPG4, SRPG6, SRPG30 e suas respectivas áreas de MN referência, em Santa Catarina e no Rio grande do Sul, Brasil.



Fonte: o autor, 2023.

3.2.1 Fauna edáfica

A macrofauna do solo foi amostrada por escavação de monólitos e extraída por catação manual, baseado no método Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF), desenvolvido por Anderson e Ingram (1993). Os monólitos de solo apresentavam dimensões de 25 x 25 cm de largura, e 10 cm de profundidade (Apêndice B – a e b). Após a escavação, os monólitos foram postos em sacos plásticos resistentes, devidamente identificados e levados ao Laboratório de Física e Manejo do Solo, nas dependências da Universidade do Estado de Santa Catarina (campus Lages/SC), onde foi realizado a triagem manual dos organismos da fauna (Apêndice D – a, b e c). Logo após a triagem os organismos foram armazenados em frascos com álcool 70%, exceto as minhocas, que foram fixadas em álcool 98%. Posteriormente os organismos da fauna foram contabilizados e, com auxílio de lupa estereoscópica, separados e classificados a nível de classe, ordem, chegando para alguns organismos, até família (RUGGIERO et al., 2015). Além disso, os organismos também foram classificados em grupos funcionais, tendo como base literatura especializada (BARETTA et al., 2011; BROWN et al., 2015; KRAFT,

2022). Quando o organismo apresentava mais do que uma funcionalidade, optou-se por classificá-lo de acordo com a função mais representativa, segundo a literatura.

A avaliação da atividade alimentar da fauna foi quantificada por meio de *Bait-lamina*, proposta inicialmente por Von Törne (1990), e padronizada pela ISO 18311 (ISO, 2016). Esse método caracteriza-se pela mensuração da atividade alimentar de organismos da fauna “in situ”. O teste consiste na exposição de lâminas (varetas) de plástico no interior do solo, contendo orifícios preenchidos com substrato orgânico, depois de um tempo pré-estabelecido de exposição as lâminas são retiradas do solo e avaliadas quanto ao número de orifícios com substrato consumido.

As varetas de plástico possuem 120 mm de comprimento, 6 mm de largura e 1 mm de espessura, com 16 orifícios distribuídos ao longo da lâmina, com 1,5 mm de diâmetro e 5 mm espaçados entre si. O substrato utilizado para preenchimento dos orifícios foi uma mistura composta por 70% de celulose microcristalina, 25% de farinha de trigo e 5% de carvão ativado (ISO, 2016). Depois de realizada a mistura dos compostos citados, foi adicionada água destilada formando uma massa, usada para preencher os orifícios manualmente com auxílio de espátula (Apêndice B – c e d). Após secagem do substrato, se observava, contra a luz, espaços não preenchidos, repetindo o processo de preenchimento até que não restasse espaço vazio nos orifícios.

As *bait-laminas* foram expostas nos mesmos pontos de onde foram coletadas as demais amostras, sendo que em cada ponto foram expostas oito lâminas, totalizando 72 unidades por área amostrada. O tempo de exposição no campo foi de 25 dias. Após esse período, as lâminas foram retiradas do solo e avaliadas, no próprio local, quanto ao número de orifícios consumidos, sendo contabilizados, os orifícios que apresentavam mais que 30% de consumo (Apêndice B - f).

3.2.2 Atributos físicos e químicos

Os atributos físicos e químicos do solo foram utilizados, nesse estudo, como variáveis ambientais explicativas. Para análises físicas, foram coletadas, na profundidade de 0 – 10 cm, amostras indeformadas de solo para determinação de estabilidade de agregados por peneiramento úmido (KEMPER e CHEPIL, 1965), e também anéis volumétricos para determinação de densidade aparente e porosidade do solo (EMBRAPA, 1997). Com auxílio de gabarito, foram coletadas amostras de serapilheira (Apêndice C – d), para posterior determinação da massa seca em estufa. A resistência a penetração do solo foi mensurada no

campo utilizando penetrômetro digital Falker (modelo PenetroLOG). Além dessas, também foi determinado a granulometria dos solos estudados, pelo método da pipeta (DAY, 1965; GEE & BAUDER, 1986) (Tabela 2) (Apêndice F – c).

Referente às análises químicas, foram coletadas nove subamostras de solo ao redor de cada ponto utilizando um trado tipo holandês, as subamostras foram misturadas e homogeneizadas formando uma amostra composta em cada um dos nove pontos amostrados de cada área, sendo coletadas em 0 – 10 cm de profundidade. Os atributos químicos analisados foram pH em água e sal (CaCl_2), teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ e Al^{+3} , trocáveis, seguindo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). O P foi determinado por colorimetria (MARPHY e RILEY, 1962) (Apêndice F - f). Além das variáveis químicas citadas, também foi coletado amostras com trado tipo calador para avaliação de carbono orgânico total (COT), também a 0 – 10 cm de profundidade. O COT foi determinado por combustão no Analytik (TOC). As variáveis físicas e químicas do solo, nos sistemas estudados, podem ser visualizadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Teores médios e coeficiente de variação (CV) de pH em cloreto de cálcio (pH CaCl₂), fósforo (P), potássio (K), alumínio (Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), carbono orgânico total (COT), resistência à penetração (RP), diâmetro médio ponderado (DMP), densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), bioporos (Bio), macroporos (Macro), microporos (Micro), umidade gravimétrica, argila e massa seca da serapilheira na primavera e outono, nos sistemas regenerativos de produção de grãos com diferentes tempos de manejo regenerativo (SRPG4, SRPG6 e SRPG30) e suas matas nativas (MN) referência, nos municípios de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, Brasil.

Propriedades do solo	Sistema											
	MN	CV (%)	SRPG4	CV (%)	MN	CV (%)	SRPG6	CV (%)	MN	CV (%)	SRPG30	CV (%)
pH CaCl₂	5,06	11	5,29	4	5,62	2	5,11	7	4,86	9	4,91	4
P (mg dm⁻³)	12,02	41	21,57	31	25,18	48	20,94	61	12,68	43	95,28	31
K (mg dm⁻³)	161,94	30	154,00	16	364,83	39	298,22	37	140,56	21	468,11	21
Al (cmol_c dm⁻³)	0,26	71	0,16	47	0,21	89	0,26	71	0,79	89	0,78	74
Ca (cmol_c dm⁻³)	10,73	54	8,19	10	18,82	27	8,86	21	9,62	31	5,89	14
Mg (cmol_c dm⁻³)	1,62	46	3,48	10	2,42	72	1,93	23	2,41	36	2,98	11
COT (%)	7,11	24	3,55	15	7,44	18	4,22	16	5,66	22	5,00	16
RP (kPa)	225,41	63	618,69	62	272,27	67	243,59	46	277,44	36	555,31	36
DMP (mm)	5,60	15	5,47	6	5,88	4	6,13	3	5,83	15	5,89	6
Ds (g cm⁻³)	0,83	13	1,27	7	1,02	9	1,19	4	1,01	6	1,15	3
PT (%)	69,89	3	62,89	12	60,89	5	56,44	3	69,44	2	61,89	3
Bio (%)	10,78	13	4,78	17	6,56	16	7,78	21	7,67	23	4,89	22
Macro (%)	21,77	17	7,44	24	10,56	40	10,56	40	19,67	9	9,89	27
Micro (%)	48,22	7	55,56	12	50,44	5	45,89	8	49,89	4	52,00	3
Umidade (%)*	54,40	19	36,08	4	56,03	12	25,42	12	26,18	10	21,11	14
Argila (%)	33,19	13	60,22	4	17,85	35	49,05	2	54,05	16	48,15	23
Serapilheira (Mg ha⁻¹) (Primavera)	7,47	26	8,04	33	7,84	34	4,78	18	7,01	36	3,52	24
Serapilheira (Mg ha⁻¹) (Outono)	7,22	13	6,63	29	–	–	–	–	8,12	11	9,24	18

*Amostragem de primavera

Fonte: o autor, 2023.

3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Todos os resultados analisados foram, primeiramente, testados quanto a sua normalidade (Shapiro Wilk) e homogeneidade (Bartlett), e quando necessário, transformações logarítmicas foram usadas. Os atributos físicos e químicos do solo foram submetidos a análise descritiva (Tabela 2).

Os dados da fauna edáfica (TSBF) foram utilizados para determinar a abundância (Ind. m²), riqueza média (S) e índice de diversidade de Shannon-Wiener (H'), de cada ponto amostral, utilizando o programa estatístico Past 4.03 (HAMMER; HARPER, RYAN, 2001). Além disso, também foi determinado, separadamente, a abundância das oligochaetas (Ind. m²). Para comparação entre os SRPGs e MNs referência, as variáveis de abundância, abundância de oligochaetas, S e H', foram submetidas a análise de variância (ANOVA) e posterior teste de comparação de médias de Fisher (LSD), a 5% de significância. Quando os dois pressupostos (normalidade e homogeneidade) não foram atendidos, realizou-se o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Além das comparações entre os SRPGs e MNs, também foram confrontadas as áreas de SRPG4 e SRPG30, uma vez que essas duas áreas estão localizadas na mesma região, diferente do SRPG6 que se localiza em outra região. Para realização de todas as análises citadas, utilizou-se o programa STATGRAPHICS.

Para os dados do *Bait-lamina*, utilizaram-se os mesmos procedimentos e comparações das variáveis do TSBF. As comparações da atividade alimentar entre as áreas de SRPG e suas MN referência, foram feitas considerando a profundidade total amostrada pelas lâminas (0,5- 8,0 cm). Contudo, na comparação entre o SRPG4 e SRPG30, foi realizado o fracionamento na avaliação da taxa de consumo em duas camadas de amostragem (0,5- 4,0 e 4,5- 8,0 cm), devido a observação de uma possível diferença de consumo alimentar na camada mais superficial (0,5 - 4,0 cm).

A partir da abundância dos grupos taxonômicos da fauna, de cada época de amostragem, foi determinado o comprimento de gradiente através da análise de correspondência direcionada (ACD). Posteriormente foram submetidos a análise de componentes principais (ACP) para melhor visualização da relação de cada grupo com os SUS e suas diferentes áreas. Para verificação da hipótese de relação dos atributos físicos e químicos com os grupos da fauna, foi realizada análise de redundância (ARD) (primavera) e análise de correlações canônicas (ACC) (outono). As variáveis explicativas (físicas e químicas) significativas ($p < 0,05$), foram selecionadas por operação de *forward selection*, sendo retiradas das análises aquelas variáveis

que não apresentaram interação significativa. As análises multivariadas foram procedidas no programa CANOCO 5.0 (TER BRAAK; SMILAUER, 2012).

Ademais, foi efetuada análise de correlação de Sperman para melhor entendimento da influência das variáveis ambientais sobre a distribuição dos grupos da fauna do solo, utilizando o programa STATGRAPHICS. Previamente a esta análise, para verificação de diferença estatística entre as diferentes épocas de amostragem, foi realizado procedimento Permanova bifatorial (Permutational multivariate analysis of variance) com base no índice de Bray-curtis, da matriz de dados de abundância dos grupos da fauna. Para esta última, foi utilizado o programa Past 4.03 (HAMMER; HARPER, RYAN, 2001). Como a Permanova não indicou diferença significativa entre as épocas de amostragem, optou-se por agrupar os dados de abundância dos grupos da fauna (primavera + outono), para realização da análise de correlação de Spearman.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ABUNDÂNCIA E DIVERSIDADE DA FAUNA EDÁFICA

Foram amostrados no total 1.818 organismos da fauna do solo, sendo identificados 21 grupos taxonômicos, nas duas estações de avaliação (primavera de 2021 e outono de 2022) (Tabela 3). Quando expressada a abundância em indivíduos por metro quadrado (ind. m^{-2}), a média de todas as áreas foi de 234,07 ind. m^{-2} , sendo a menor abundância observada na área de SRPG4 no outono (167 ind. m^{-2}), e a maior na MN referência do SRPG6 também no outono (500 ind. m^{-2}) (Tabela 3).

Os testes estatísticos demonstraram haver diferenças significativas entre os usos do solo nas duas estações do ano. Na primavera, a MN referência do SRPG4, apresentou valores superiores para as variáveis de riqueza média ($p = 0,001$), abundância ($p = 0,005$) e índice H' ($p = 0,043$). Já, no outono, a MN referência do SRPG6, apresentou maior valor de riqueza média ($p = 0,023$) (Tabela 3).

As diferenças encontradas apenas entre os sistemas mais jovens de manejo regenerativo (SRPG4 e SRPG6) e suas MN referência contribui para corroborar de parte da hipótese (I) levantada, mostrando que sistemas de agricultura regenerativa com maior tempo de condução (SRPG30) podem favorecer a maior abundância e diversidade da fauna edáfica, mantendo seus níveis semelhantes aos da mata nativa referência. Entretanto, outros fatores devem ser levados em consideração para precisar esta afirmação, como o histórico de manejo e condições ambientais das áreas.

Em relação ao SRPG4, é relevante ressaltar que é a única área com histórico recente de integração com pecuária (Tabela 1), o que pode estar refletindo em condições físicas do solo desfavoráveis para fauna edáfica. Na Tabela 2 pode-se observar que essa área apresentou os maiores valores de resistência a penetração (RP) (618,689 Kpa) e densidade do solo (Ds) (1,27) e os menores valores de diâmetro médio ponderado (DMP) (5,47 mm) e bioporos (Bio) (0,048 $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$), apesar desses valores, segundo a literatura, não estarem em níveis críticos de limitação da qualidade do solo (LAL, 1999). Trabalhos demonstram que em certos casos, sistemas agrícolas com presença de gado podem interferir negativamente a fauna do solo. O estudo de Rosa et al. (2015), realizado no planalto sul-catarinense, demonstrou que a riqueza de táxons da macrofauna foi menor em sistema de integração lavoura-pecuária, quando comparado a área de mata nativa.

Tabela 3 – Riqueza média, abundância (Indivíduos por metro quadrado (Ind. m⁻²)) e índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') dos grupos da fauna edáfica amostrados por monólitos de solo (TSBF), nos sistemas regenerativos de produção de grãos (SRPG) com diferentes idades (4, 6 e 30 anos) e suas matas nativas referência (MN), na primavera de 2021 e outono de 2022, nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, Brasil.

	Primavera						Outono					
	MN	SRPG4	MN	SRPG6	MN	SRPG30	MN	SRPG4	MN	SRPG6	MN	SRPG30
Araneae	4	2	0	2	14	0	9	12	12	2	7	9
Blattodea	7	0	0	0	4	2	7	4	4	2	0	0
Chilopoda	28	7	9	34	4	28	52	11	11	34	11	25
Coleoptera	14	23	11	4	23	18	30	28	23	27	21	52
Dermaptera	0	0	0	0	0	0	2	2	5	0	0	0
Diplopoda	32	4	7	44	4	2	27	7	18	82	11	14
Diptera	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0
Formicidae	89	36	23	28	183	60	27	20	192	60	18	23
Gastropoda	12	0	0	0	4	0	2	0	0	0	2	0
Gryllidae	0	0	0	0	0	0	2	9	0	0	0	0
Hemiptera	4	0	2	0	2	0	2	2	0	0	0	2
Hymenoptera	0	4	0	0	4	0	16	0	2	2	0	2
Hyrudinea	0	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
Isopoda	7	0	0	0	4	0	0	0	5	2	0	0
Isoptera	14	0	9	0	7	0	5	0	91	0	4	0
Larva Coleoptera	50	52	69	16	52	53	21	30	53	11	48	43
Larva Diptera	9	9	18	9	5	2	2	2	0	0	0	4
Larva Lepidóptera	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lepidóptera	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Oligochaeta	30	20	39	66	23	146	25	37	59	25	69	68
Outros	20	18	25	2	5	41	36	4	25	2	9	4
Pseudoscorpionida	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Riqueza média	7,55*	4,44	5,33 ^{ns}	4,78	5,22 ^{ns}	4,67	6,33 ^{ns}	4,33	7,11*	5	4,22 ^{ns}	5,11
Indivíduos.m²	325*	174	219 ^{ns}	220	340 ^{ns}	352	265 ^{ns}	167	500 ^{ns}	247	201 ^{ns}	244
Shannon (H')	1,68*	1,28	1,36 ^{ns}	1,33	1,22 ^{ns}	1,21	1,45 ^{ns}	1,25	1,46 ^{ns}	1,26	1,23 ^{ns}	1,29

* Denota diferença estatística pelo teste de Fisher (LSD) (p<0,05).

^{ns} = não significativo.

Outros = organismos não identificados.

Fonte: o autor, 2023.

Nas demais áreas avaliadas, apesar de não ter havido diferença estatística, observa-se maior riqueza e diversidade de grupos da fauna nas áreas de MN nas duas estações, excetuando-se o SRPG30 no outono, que apresentou valores de riqueza média (5,11) e índice H' (1,29) maiores do que sua MN referência (4,22 e 1,23, respectivamente) (Tabela 3). Esses resultados estão em conformidade com a literatura, que na maioria dos casos associam maior diversidade da fauna edáfica a áreas de mata nativa quando comparadas a áreas agrícolas, devido as melhores condições de habitat e diversidade de recursos alimentares que esses ambientes naturais proporcionam para biota do solo (BARTZ et al., 2014; KRAFT, 2018; POMPEO et al., 2016; ROSA et al., 2015;).

Além disso, o resultado destacado acima pode evidenciar boas condições ambientais para fauna do solo na área de SRPG30, podendo estar associada às práticas de manejo regenerativo realizadas na lavoura, e também ao maior tempo de condução do sistema (30 anos). Em estudo recente, Ramos et al. (2021), ao avaliarem a densidade da fauna do solo em condições semelhantes no Paraná, em sistema plantio direto de grãos com uso de manejos regenerativos de 30 anos de condução, também relataram níveis semelhantes de abundância entre o sistema plantio direto e área de mata nativa.

Outro fator que merece ser levado em conta é a proximidade da mata nativa com a área de lavoura amostrada, que também pode estar contribuindo com a diversidade no sistema agrícola. Estudos como os de Marichal et al. (2014) e Zhang et al. (2020) demonstram que fragmentos florestais nativos próximos de áreas de produção agrícola, podem favorecer a abundância e diversidade da fauna do solo. Alexandre (2019), em estudo realizado no oeste de Santa Catarina, demonstrou maior abundância e riqueza de grupos da mesofauna do solo em áreas com até 100 m de distância de fragmentos de mata nativa.

Na comparação entre o SRPG4 e SRPG30 houve semelhança entre os atributos da fauna avaliados ($p < 0,05$). Apesar disso, pode ser observado que o sistema mais antigo favoreceu principalmente a abundância dos invertebrados, apresentando valores expressivos em relação ao sistema mais jovem, tanto na primavera quanto no outono (Tabela 3). Sistemas de plantio direto de longa duração, com diversificação de plantas de cobertura e redução no uso de insumos químicos podem favorecer a abundância de organismos da fauna edáfica, como mostrado por Ramos et al. (2021) que relataram aumento de até 68% de abundância de invertebrados do solo, em comparação com sistema convencional de cultivo.

Ao observar a abundância média por metro quadrado de cada grupo da fauna edáfica amostrado nas diferentes estações e áreas avaliadas, na coleta de primavera os grupos mais abundantes foram Formicidae (70), Oligochaeta (54) e larva de Coleoptera (49). No outono a

mesma tendência foi seguida, sendo os grupos mais representativos Formicidae (57), Oligochaeta (47) e larva de Coleoptera (34), o grupo Coleoptera (30) também teve destacada ocorrência nesta época de amostragem (Tabela 3).

Quando se observa a ocorrência dos grupos da fauna edáfica entre as áreas avaliadas, quatro ficaram restritos apenas a áreas de MN, sendo eles: Gastropoda, Isoptera, Lepdoptera e Pseudoscorpionida. Gastropoda ocorreu apenas nas matas referências do SRPG4 e SRPG30; Lepdoptera apenas na MN referência do SRPG30 na primavera; e Pseudoscorpionida apenas na MN referência do SRPG4 no outono. Outros grupos com restrição de ocorrência foram larva de Lepdoptera que ocorreu apenas no SRPG4 na primavera, Hirudinea no SRPG6 e em MN referência na primavera, Diptera no SRPG6 e MN referência do SRPG30 e Isopoda que ocorreu em todas as áreas menos SRPG30 e SRPG4. Dermaptera e Gryllidae foram coletados apenas no outono. Os demais grupos (Araneae, Blattodea, Chilopoda, Coleoptera, Diplopoda, Formicidae, Hemiptera, Hymenoptera, larva de Coleoptera, larva de Diptera e Oligochaeta) ocorreram em todas as áreas, tanto na primavera, quanto no outono (Tabela 3).

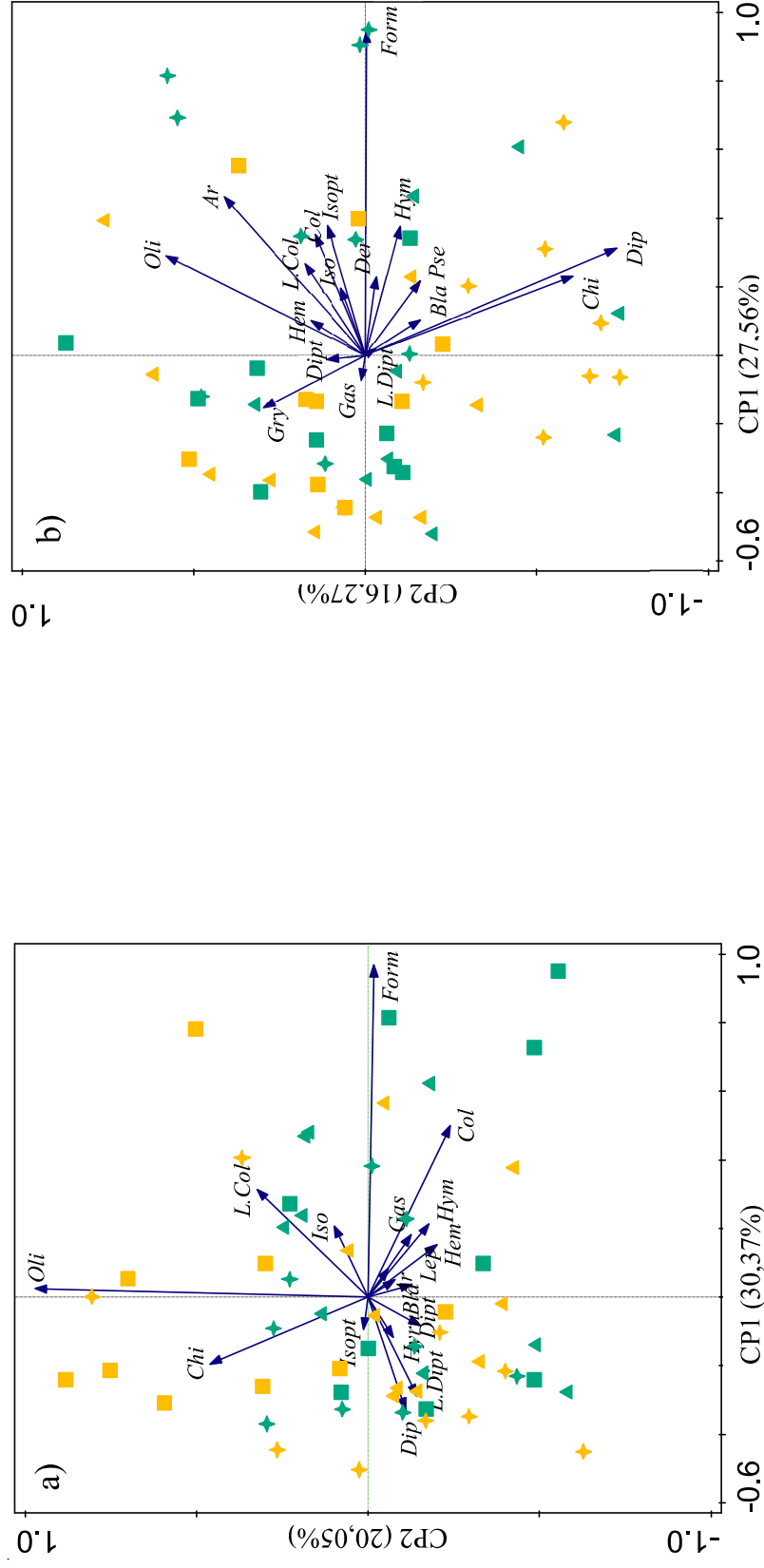
Na análise de componentes principais (ACP) pode-se visualizar a distribuição dos grupos da fauna edáfica entre os pontos amostrados nos SUS avaliados. Apesar de não ter ocorrido separação entre as áreas, tanto na primavera quanto no outono, algumas associações podem ser observadas dentro do espaço dimensional dos eixos principais. Na ACP de primavera (Figura 4 – a) a CP1 explicou 30,37% da variação, enquanto a CP2 explicou 20,05%, totalizando 50,37% da variabilidade. De modo geral, se destaca a contribuição dos grupos Oligochaeta e Chilopoda na ordenação e separação de pontos das áreas de SRPG30, SRPG6 e alguns pontos das MN referências do SRPG6 e SRPG4.

Outros destaques são a contribuição dos grupos Formicidae, Coleoptera e larva de Coleoptera na separação de pontos das áreas de SRPG30, SRPG6, SRPG4 e suas referidas MNs. (Figura 4 – a). Rosa et al. (2015) e Baretta et al. (2010) também encontraram maior associação desses grupos com áreas de mata nativa, em comparação a áreas agrícolas.

Na ACP do outono (Figura 4 – b) a CP1 explicou 27,56% da variação, e a CP2 16,27%, totalizando 43,83% da variabilidade. Seguindo a mesma tendência da primavera, o grupo Formicidae teve representativa contribuição na variabilidade de pontos das áreas de SRPGs e MNs. Outros grupos com destaques são Oligochaeta, Araneae, Chilopoda e Diplopoda (Figura 4 – b).

A semelhança dos SUS na ACP pode evidenciar boas condições gerais que as áreas de SRPG apresentam, com distribuição da fauna edáfica equivalente aos das áreas de mata nativa.

Figura 4 – Análise de componentes principais (ACP) na primavera (a) e outono (b), entre os grupos da fauna edáfica e as áreas de sistema regenerativo de produção de grãos (SRPG) com diferentes idades (4, 6 e 30 anos) e suas matas nativas (MN) referência. Nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, Brasil. Araneae (Ar); Blattodea (Bla); Chilopoda (Chi); Coleoptera (Col); Dermaptera (Der); Diplopoda (Dip); Diptera (Dipt); Formicidae (Form); Gastropoda (Gas); Gryllidae (Gry); Hemiptera (Hem); Hymenoptera (Hym); Hydrudinea (Hyr); Isopoda (Iso); Isoptera (Isopt); larva Coleoptera (L.Col); larva Diptera (L.Dipt); Lepidoptera (Lep); Oligochaeta (Oli); Pseudoscorpionida (Pse). Componente principal 1 (CP1); Componente principal 2 (CP2).



Legenda: ■ = MN30; ▲ = MN4; ◆ = MN6; ★ = SRPG30; ★ = SRPG4; ★ = SRPG6.

Fonte: o autor, 2023.

4.2 RELAÇÃO DA FAUNA EDÁFICA COM ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO

De acordo com a análise de redundância (RDA), realizada para os dados da amostragem de primavera, observa-se que apenas a variável explicativa potássio (K) ficou significativamente correlacionado com a distribuição dos grupos da fauna edáfica (Figura 5 – a). Os grupos que mais se relacionaram com essa variável foram: Oligochaeta (Oli), Diptera (Dipt) e Chilopoda (Chi). As duas componentes principais explicaram, juntas, 69,84% da variação total dos dados, sendo 7% dessa fatia explicada pela componente principal 1 (CP1) e 62,84% explicado pela componente principal 2 (CP2) (Figura 5 – a). Outros autores, ao avaliarem a influência das variáveis químicas e físicas do solo sobre a fauna, também encontraram relação do K com esses mesmos grupos (KRAFT et al., 2021; ROSA et al., 2015; SILVA et al., 2020).

A análise de correspondência canônica (CCA), realizada para os dados do outono, também demonstrou haver relação significativa entre variáveis físicas e químicas do solo e a variação de abundância dos grupos da fauna (Figura 5 – b). As variáveis físicas significativas na análise foram: porosidade total (PT), bioporos (Bio), resistência à penetração (RP) e diâmetro médio ponderado (DMP). Atributos esses, que se caracterizam por comporem a qualidade estrutural do solo, fundamental para o bom funcionamento do mesmo, inclusive quanto ao aspecto biológico. PT e RP ficaram mais relacionados com os grupos Diptera (Dipt), larva de Coleoptera (L.Col), Oligochaeta (Oli) e Araneae (Ar). Já, com Bio e DMP, ficaram mais associados os grupos Diplopoda (Dip), Pseudoescorpionida (Pse), Hymenoptera (Hym), Blattodea (Bla) e Chilopoda (Chi) (Figura 5 – b).

Rosa et al. (2015), também encontraram relação de bioporos com os grupos Diplopoda e Blattodea, confirmando suas relações com essa variável. Certos grupos da fauna possuem a capacidade de criar poros no solo, através de seus hábitos de escavação, como bom exemplo as minhocas. Ao mesmo tempo, há uma diversidade de organismos que usam a porosidade do solo como meio de locomoção e abrigo. Pompeo (2020), em estudo realizado em áreas de Santa Catarina, também encontrou relação da variável bioporos com grupos da fauna edáfica.

A estrutura física do solo possui relação com a atividade da fauna edáfica, afetando e sendo afetada pela mesma. As relações positivas encontradas entre as variáveis físicas do solo e os grupos da fauna confirmam este fato. Ambientes com mínimas intervenções mecânicas na estrutura do solo, como o sistema plantio direto, por exemplo, tentem a favorecer o estabelecimento e estruturação da comunidade faunística, pois permitem, ao longo do tempo, o

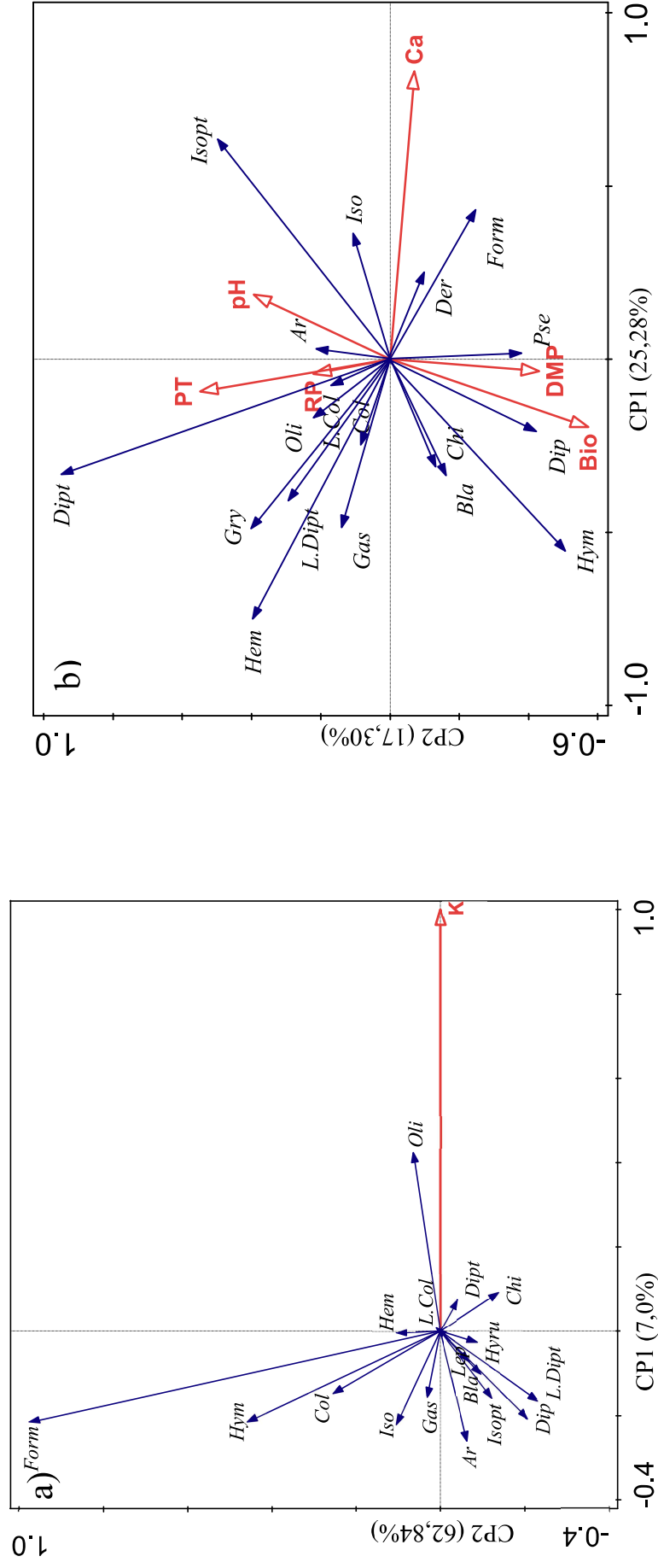
acumulo de matéria orgânica e a manutenção de habitats para os organismos que, por sua vez, agem potencializando a qualidade física desse solo (BROWN et al., 2015).

As variáveis químicas significativas na CCA foram: pH, relacionado, principalmente, com os grupos Araneae (Ar), Isoptera (Isopt) e Isopoda (Iso); e Ca, relacionado com os grupos Dermaptera (Der), Formicidae (Form) e Isopoda (Figura 6 – b). Esses grupos, apresentaram, em comum, maior abundância na área de MN referência do SRPG6, no outono (Tabela 3), justamente na área com maiores valores de pH e Ca (Tabela 2). Este fato contribui para o melhor entendimento da ocorrência desses grupos nesse local. A MN referência do SRPD6 possui características de solo que diferem das demais áreas, apresentando maior pedregosidade, menor profundidade efetiva e textura arenosa, indicando ser um solo mais jovem, o que explicaria os valores mais elevados dessas variáveis químicas nessa área de MN (Tabela 2).

Da mesma forma que as propriedades física, a fauna edáfica pode afetar e ser afetada pelas propriedades químicas do solo, principalmente as relacionadas a fertilidade do mesmo. Por um lado, a melhor condição de fertilidade química, como pH acima de 5,5 e disponibilidade de macro e micronutrientes, estimula o maior desenvolvimento das plantas (raiz e parte aérea) que, conseqüentemente, gera mais matéria orgânica no solo, estimulando maior atividade de microrganismos, como os associados à rizosfera por exemplo, que por sua vez, dão suporte para o desenvolvimento de organismos de nichos ecológicos superiores na cadeia trófica, como é o caso da fauna do solo. Por outro lado, a maioria dos grupos que compõem a fauna (detritívoros, geófagos, bioturbadores e predadores), participam e podem melhorar a fertilidade química do solo, atuando ativamente na reciclagem e disponibilidade de nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas (BROWN et al., 2015; LAVELLE et al., 1992).

As relações significativas entre os atributos químicos do solo e a fauna edáfica, observadas tanto na primavera (RDA), quanto no outono (CCA) evidenciam a estreita relação da qualidade química com os invertebrados do solo. Vários outros autores também relataram correlação das propriedades químicas do solo (inclusive K, pH e Ca) com a distribuição de grupos da fauna edáfica, em sistemas agrícolas e naturais (BARETTA et al., 2014; SILVA et al., 2020; SILVA et al., 2022; dos PERON et al., 2023; POMPEO, 2020).

Figura 5 – Análise de redundância, na primavera (a) e análise de correlações canônicas, no outono (b), entre os grupos da fauna edáfica e as variáveis físicas e químicas do solo, nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, Brasil. Araneae (Ar); Blattodea (Bla); Chilopoda (Chi); Coleoptera (Col); Dermaptera (Der); Diplopoda (Dip); Diptera (Dipt); Formicidae (Form); Gastropoda (Gas); Gryllidae (Gry); Hemiptera (Hem); Hymenoptera (Hym); Hyrudinea (Hyr); Isopoda (Iso); Isoptera (Isopt); larva Coleoptera (L.Col); Larva Diptera (L.Dipt); Lepidoptera (Lep); Oligochaeta (Oli); Pseudoscorpionida (Pse). Potássio (K); porosidade total (PT); resistência à penetração (RP); cálcio (Ca); diâmetro médio ponderado (DMP); bioporos (Bio); potencial hidrogeniônico em sal (CaCl2) (pH). Componente principal 1 (CP1); componente principal 2 (CP2).



Fonte: o autor, 2023.

Na análise de correlação de Spearman também foram encontradas relações significativas ($p < 0,05$) entre os grupos e atividade alimentar da fauna edáfica e as variáveis ambientais explicativas. No geral, essa análise confirmou as relações encontradas nas multivariadas (salvo algumas discordâncias), apresentando relações positivas e negativas entre os grupos e as variáveis físicas e químicas do solo (Tabela 4). Contudo, além das variáveis encontradas em comum com as análises multivariadas, a correlação de Spearman demonstrou haver algumas relações adicionais entre os grupos e atividade da fauna e as propriedades físicas e químicas do solo.

Quando se observam as variáveis significativas em comum com a RDA e CCA, nota-se que nem todas seguiram exatamente o mesmo comportamento. Examinando cada variável explicativa individualmente, algumas observações podem ser feitas. Quanto as físicas, a RP apresentou apenas relações negativas na análise de Spearman, sendo elas com os grupos Diplopoda, Gastropoda e Isoptera (Tabela 4). Esses grupos, em particular, tiveram maior relação com as áreas de MN e com o SRPG6 (Tabela 3), sendo que estas, foram as que apresentaram o menor valor de RP do solo, evidenciando a influência dessa variável sobre a ocorrência dos referidos grupos nessas áreas. A PT apresentou correlações positivas com Araneae e Gastropoda e negativa com Diplopoda, assim como na CCA. Bio e DMP apresentaram apenas correlações positivas com os grupos da fauna (Bllatodea, Chilopoda, Diplopoda e Gastropoda) (Tabela 4), seguindo a mesma tendência da análise multivariada de outono.

Em relação as variáveis químicas, o pH, diferentemente do que na CCA, não apresentou relação significativa com os grupos taxonômicos da fauna edáfica. Já, o K e Ca, seguiram o mesmo comportamento observado na RDA e CCA, apresentando relações positivas com mesmos grupos da fauna, porém com nem todos observados nas análises anteriores. O K, na análise de Spearman, apresentou significância apenas com o grupo Oligochaeta, comportamento esse que se assemelha muito ao encontrado na RDA, visto que esse grupo foi o mais relevante na relação com o K nessa análise (Figura 5 – a). O Ca, apresentou relação com os táxons Araneae e Formicidae, reforçando a influência dessa variável sobre a distribuição desses grupos.

As minhocas (Oligochaeta) possuem capacidade de modificação das propriedades químicas do solo, realizando a mineralização e disponibilização de diversos nutrientes, como é o caso do K (BARETTA et al, 2011), em trabalhos como o de Langenbach et al. (2002), evidenciou-se incremento de K em solos com presença de minhocas, comparado com solos sem minhocas. Em relação ao Ca, além das relações indiretas com a fauna, também já é conhecida sua interação direta com o desenvolvimento dos invertebrados do solo. Ele é importante em diversos processos fisiológicos como a regulação osmótica e ecdise (ROSA et al., 2015).

Tabela 4 – Correlação de Spearman entre as variáveis ambientais e a atividade alimentar e grupos da fauna edáfica, para todas as áreas avaliadas (SRPG de 4,6 e 30 anos + MNs referências) e as duas épocas de amostragem (primavera + outono). Nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, Brasil.

Grupos e atividade alimentar da fauna edáfica	pH CaCl ₂	Ca	Mg	K	P	AI	COT	RP	DMP	Ds	PT	Bio	Macro	Micro	Atividade alimentar (%) ¹
Araneae	-	0,202	-	-	-	-	-	-	-	-	0,202	-	-	-	-0,197
Blattodea	-	-	-0,238	-	-	-	-	-	-	-0,218	-	0,292	0,212	-	-
Chilopoda	-	-	-	-	-	-	-	-	0,251	-	-	-	-	-	-
Coleoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dermaptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Diplopoda	-	-	-0,389	-	-	-	-	-0,298	0,196	-	-0,223	0,299	-	-0,324	-
Diptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Formicidae	-	0,213	-	-	-	-	-	-	-	-0,192	-	-	-	-	-
Gastropoda	-	-	-	-	-	-	-	-0,280	-	-0,318	0,268	0,312	0,343	-0,214	-
Gryllidae	-	-	-	-	-	-0,235	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hemiptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,22	-	-	-	-	-
Hymenoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hyrudinoidea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Isopoda	-	-	-	-	-	-	0,217	-	-	-	-	-	-	-	-
Isoptera	-	-	-	-	-	-	0,213	-0,192	-	-0,227	-	-	-	-	-
Larva Coleoptera	-	-	-	-	-	0,2233	-	-	-	-	-	-	-	0,211	-
Larva Diptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Larva Lepidóptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lepidóptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oligochaeta	-	-	-	0,212	0,222	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pseudoscorpionida	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Atividade alimentar (%) ¹	-0,191	-0,225	-	-	-	-	-	-	-	0,1982	-	-0,283	-	-	-

¹= avaliada por *Bait-lamin*

Além das relações citadas, a análise de correlação de Spearman ainda evidenciou relações significativas entre os grupos da fauna e as variáveis físicas: densidade do solo (Ds), macroporos (Macro) e microporos (Micro). E químicas: magnésio (Mg), fósforo (P), alumínio (Al) e carbono orgânico total (COT) (Tabela 4).

A Ds foi a variável explicativa que apresentou o maior número de relações com os grupos da fauna do solo (Blattodea, Formicidae, Gastropoda, Hemiptera e Isoptera), sendo todas elas relações negativas. Esse resultado enfatiza a forte relação da qualidade física do solo com a fauna edáfica. Ao avaliar esse resultado, pode-se destacar o fato de que todos os grupos relacionados negativamente com a Ds, tiveram maior ocorrência nas áreas de MN, em comparação com as de SRPG. O que, na verdade, faz muito sentido, pois áreas de mata nativa geralmente apresentam menores valores de Ds, em relação a áreas agrícolas. A Ds do solo é aumentada em áreas de produção agrícola devido a maior circulação de máquinas e animais, o que pode ser piorado quando ocorre processos como a compactação, que acaba afetando também a porosidade do solo e consequentemente o desenvolvimento de grupos que usam os poros como meio de locomoção e abrigo (MOÇO et al., 2005).

A variável Macroporosidade se correlacionou positivamente com Blattodea e Gastropoda, seguindo a mesma tendência da PT e Bio. A microporosidade teve relações negativas com Diplopoda e Gastropoda e positiva com larva de Coleoptera (Tabela 4). Essas relações negativas com microporos pode estar associada à capacidade de aeração do solo, visto que as áreas que apresentaram maior microporosidade, foram também as que apresentaram menor Macro e Bio (Tabela 2). A macro e bioporosidade são responsáveis pela drenagem de água e circulação de ar no solo, diferente dos microporos, que são responsáveis principalmente pela retenção de água no solo. Nesse sentido, devido ao fato da maioria dos organismos faunísticos serem aeróbicos, eles são extremamente dependentes da oxigenação do solo que, por sua vez, é influenciada pela distribuição e tamanho de seus poros (BRIONES, 2018).

O Mg apresentou correlações negativas com Blattodea e Diplopoda. O fósforo apresentou correlação apenas com o grupo Oligochaeta (minhocas). As minhocas possuem estreita relação com a variável P, uma vez que as propriedades fisiológicas ligadas ao processo digestivo desses animais possuem a capacidade de potencializar a solubilização do P contido na matéria orgânica e minerais do solo (GUIMARÃES et al., 2017). Langenbach et al. (2002) relataram aumento nos teores de P em solos com presença de minhocas. A variável COT esteve relacionado positivamente com Isoptera e Isopoda, o que explica a maior ocorrência desses grupos nas áreas de MN, as quais apresentaram maiores teores de COT, em relação as áreas de SRPG. A matéria orgânica do solo compreende a propriedade com maior interação com a biota

do solo, pois está diretamente ligada ao fornecimento de alimento para os organismos (BARETTA et al., 2011).

Ademais, também foi usado na análise de correlação de Spearman, a atividade alimentar (por *Bait-lamina*) da fauna, sendo correlacionada com os grupos taxonômicos e com as variáveis ambientais explicativas. As variáveis químicas relacionadas com a atividade alimentar foram; pH e Ca, sendo elas negativas. Em relação as variáveis físicas, Ds apresentou correlação positiva e Bio, relação negativa. Essas relações podem ser melhor entendidas quando se observa quais os sistemas que apresentaram maior taxa de consumo (SRPG), que foram os que apresentaram também menores taxas de Ca e Bio, e maiores de Ds, em relação as MNs.

As relações significativas entre as variáveis físicas e químicas do solo e a atividade alimentar e grupos taxonômicos da fauna edáfica, encontradas nas análises multivariadas e de correlação, corroboram a segunda hipótese deste estudo (II).

4.3 ABUNDÂNCIA DE OLIGOCHAETAS

No total, foram amostrados 341 indivíduos pertencentes ao grupo Oligochaeta. Na primavera, foram coletados 182 e no outono 159. A abundância média (indivíduos m^{-2}) entre os sistemas avaliados variou de 23 a 69, nas áreas de MN e, de 20 a 146, nas áreas de SRPG. (Tabela 5). Os testes estatísticos demonstraram diferença significativa apenas na comparação entre o SRPG30 (146 ind. m^{-2}) e o SRPG4 (20 ind. m^{-2}), durante a primavera ($p = 0,0096$).

Esse resultado ajuda a reforçar a confirmação da primeira hipótese (I), evidenciando a maior abundância desse grupo chave para saúde do solo na área com maior tempo de condução dos manejos regenerativos (SRPG30). Vários fatores podem afetar a atividade e abundância das minhocas nos sistemas terrestres, sendo elas, um dos organismos mais sensíveis as perturbações no ambiente, principalmente relacionados a intensificação de preparo do solo, aplicação de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos (BARETTA et al., 2011; DUDAS et al., 2020). Por outro lado, há estudos que demonstram que elas são as mais beneficiadas pela adoção de práticas agrícolas conservacionistas, como maior exemplo o sistema plantio direto (BROW et al., 2003).

Tabela 5 – Abundância média de Oligochaetas (Indivíduos/m²) amostradas por TSBF nos Sistemas regenerativos de produção de grãos (SRPG) com diferentes idades (4, 6 e 30 anos) e suas matas nativas referência (MN), na primavera de 2021 e outono de 2022, nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, Brasil.

	Primavera						Outono					
	MN	SRPG4	MN	SRPG6	MN	SRPG30	MN	SRPG4	MN	SRPG6	MN	SRPG30
Abundância Oligochaeta (ind. m ⁻²)	30 ^{ns}	20	39 ^{ns}	66	23 ^{ns}	146	25 ^{ns}	37	59 ^{ns}	25	69 ^{ns}	68

^{ns} = não significativo.

Fonte: o autor, 2023.

Tomando o sistema plantio direto (SPD) como referência, pode-se citar o estudo de Brown et al. (2003) que, ao avaliarem a ocorrência de minhocas em áreas sob SPD com diferentes idades, no estado do Paraná, evidenciaram correlação positiva entre a idade do SPD e a abundância de minhocas, influenciado principalmente pelo incremento de carbono orgânico do solo que esses sistemas de manejo promovem. A adoção do sistema plantio direto, em particular, é considerado o maior aliado no aumento da diversidade e populações de minhocas em áreas agrícolas. Contudo, se os três princípios que regem esse sistema (mínimo revolvimento do solo, cobertura permanente do solo e diversidade de culturas) não forem seguidos à risca, a tendência é que a população desses organismos diminua com o passar dos anos (DUDAS et al. 2020).

Bartz et al. (2013), usando a população de minhocas como indicadora de qualidade biológica do solo, avaliaram 34 unidades de SPD no Sudoeste do Paraná, e com os dados de abundância e riqueza de espécies, propuseram uma classificação de qualidade para os SPDs. Deste modo, de acordo com a abundância das minhocas, os autores chegaram na seguinte classificação: <25 ind m⁻² = pobre; ≥25 a <100 ind m⁻² = moderado; ≥100 a <200 ind m⁻² = boa e ≥200 ind m⁻² = excelente. Sendo que 60% das unidades de SPD avaliadas se enquadraram entre as categorias de pobre e moderado (também levando em consideração a riqueza de espécies). Com estes resultados, os autores deste trabalho enfatizam a necessidade de melhorias nos manejos propostos para SPD, como a maior diversificação de culturas cultivadas.

Em outro estudo realizado no meio oeste catarinense (inclusive em Campos Novos), Bartz et al. (2014) usando esta classificação como base, avaliaram 30 propriedades rurais contendo sistemas agrícolas com plantio direto. Os resultados demonstraram que a maioria das áreas se enquadraram na categoria de qualidade “pobre” para abundância de minhocas.

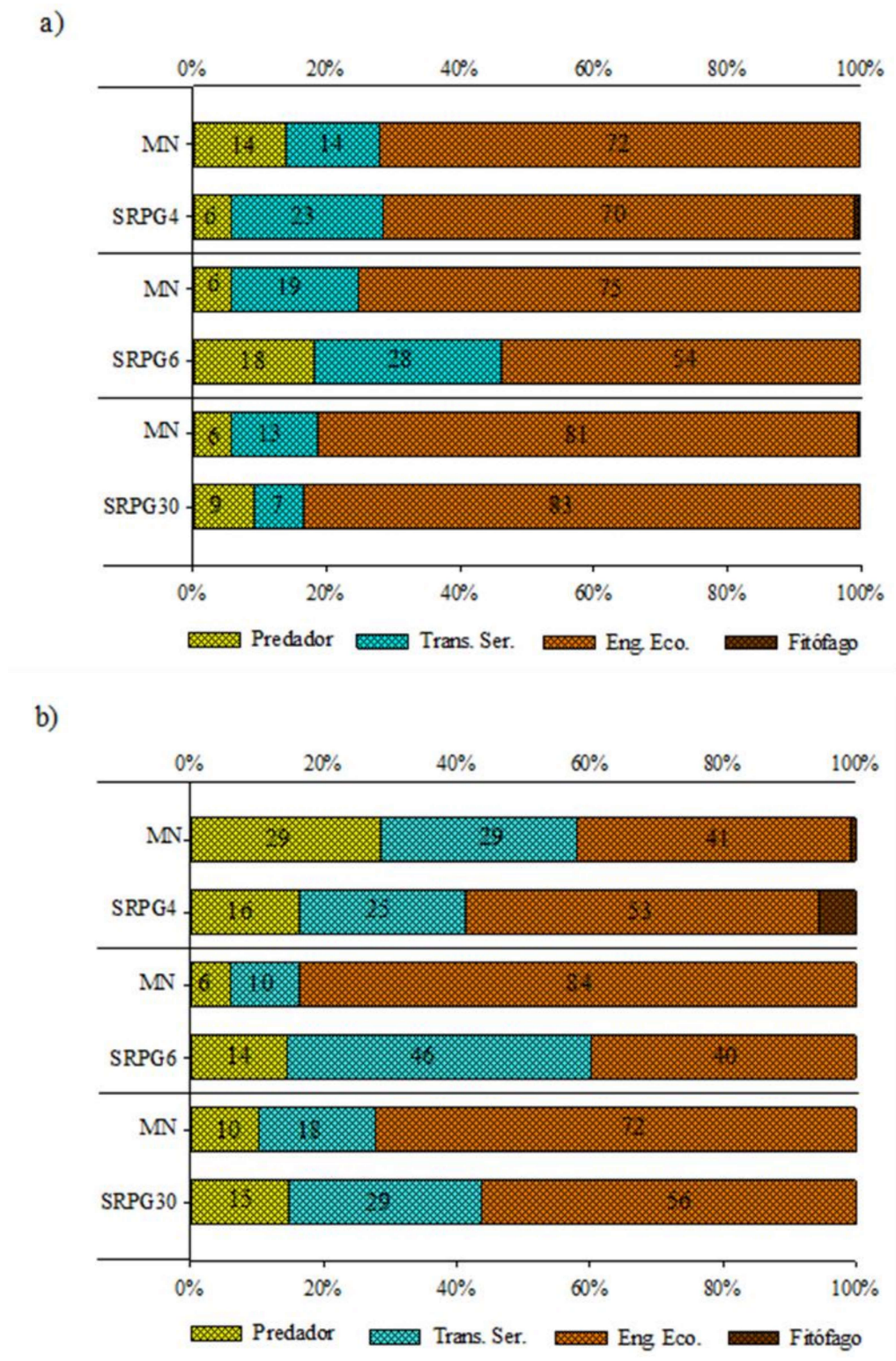
Apesar de que certos fatores metodológicos devam ser levados em consideração (ex. época e profundidade de coleta, regiões e manejos), os resultados citados a cima podem auxiliar na contextualização dos resultados encontrados neste estudo. Quando se analisa a abundância média de minhocas em cada área de SRPG, nas duas épocas de amostragem, observa-se que, segundo a classificação citada, apenas o SRPG4, na primavera, se encaixaria na classe de “pobre”, com 20 ind. m⁻². E apenas o SRPG30, também na primavera, se enquadraria na classe “boa”, com 146 ind. m⁻². As demais áreas, na primavera e outono, ficariam enquadradas na classificação “moderado” (Tabela 5).

4.4 ABUNDÂNCIA RELATIVA DE GRUPOS FUNCIONAIS DA MACROFAUNA EDÁFICA

Ao observar a distribuição dos grupos funcionais percebe-se que houve predomínio dos engenheiros do ecossistema em todas as áreas, tanto na primavera (Figura 6 – a) quanto no outono (Figura 6 – b), representados principalmente pelos grupos Formicidae, larva de coleóptera e Oligochaetas. Contudo, no outono houve diminuição da predominância dos engenheiros do ecossistema, tendo aumento da ocorrência dos grupos de predadores e transformadores da serapilheira, principalmente nas áreas de SRPG.

Os engenheiros do ecossistema são assim chamados devido sua influência nas propriedades físicas do solo. Eles melhoram a estruturação, aeração e infiltração de água, através de sua movimentação, construção de ninhos e produção de estruturas biogênicas (BROW et al., 2001; LAVELLE et al., 1997). Além disso, eles possuem interação com os outros organismos que habitam o solo, interferindo na disponibilidade de recursos e habitat e, especificamente com os microrganismos, estimulando e modulando suas principais atividades (ex. decomposição da MOS) pela produção de moléculas sinalizadoras carregadas energeticamente, que atuam como mediadores ecológicos dos processos no solo (LAVELLE et al., 2016).

Figura 6 – Abundância relativa dos grupos funcionais da fauna edáfica amostrados por TSBF nos sistemas regenerativos de produção de grãos (SRPG) com diferentes idades (4, 6 e 30 anos) e suas matas nativas referência (MN), na primavera de 2021 (a) e outono de 2022 (b), nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, Brasil.



Fonte: o autor, 2023.

O predomínio dos engenheiros do ecossistema em todas as áreas avaliadas pode estar relacionado com os teores de carbono orgânico observados nessas áreas (Tabela 2), uma vez que esses organismos possuem interação com a matéria orgânica do solo, afetando e sendo afetado por ela. Quando se examina os organismos que predominaram dentro deste grupo (formigas, minhocas e larvas de coleóptera), todos eles contribuem para incorporação da matéria orgânica no solo. As formigas possuem alta diversidade, com diferentes hábitos de alimentação e locomoção. Muitas delas são detritívoras, cultivadoras de fungos ou predadoras de outros organismos (FOLGARAIT, 1998). Esse fato faz com que as formigas possuam intensa movimentação, tornando-as incorporadoras ativas de matéria orgânica ao longo do perfil do solo (BROWN et al., 2015).

As minhocas tiveram contribuição expressiva na composição dos engenheiros do ecossistema. Este grupo (Oligochaeta) é um dos mais importantes dentro dos bioindicadores de saúde do solo, realizando serviços ecossistêmicos chave, como a incorporação e mineralização da matéria orgânica no solo (BARTZ et al., 2013; LAVELLE & SPAIN, 2001). Além disso, os hábitos de locomoção e escavação das minhocas causam aberturas de túneis e galerias, que facilitam a movimentação de outros organismos, o desenvolvimento de raízes das plantas e a infiltração de água no solo (BLANCHART et al., 2004).

O grupo dos coleópteras geralmente é mais abundante em ambientes ricos em matéria orgânica e com boa qualidade estrutural do solo (POMPEO et al., 2016). Além do mais, os organismos adultos deste grupo são uns dos principais atuantes na incorporação da matéria orgânica no solo, distribuindo-a em diferentes profundidades no perfil, e podendo chegar a um acúmulo de toneladas de matéria orgânica do solo por unidade de tempo (LOUZADA, 2008; BARETTA et al., 2011).

Os transformadores da serapilheira tiveram ocorrência relativamente baixa na maioria das áreas na coleta de primavera, destacando-se, nesta época, o SRPG6 (28%) (Figura 6 – a). Na amostragem de outono houve aumento geral na frequência deste grupo em todas as áreas amostradas, mas principalmente no SUS de SRPG, destacando-se, novamente, o SRPG6 (46%) (Figura 6 – b).

Os organismos transformadores da serapilheira desempenham papel importante na reciclagem e disponibilidade de nutrientes no solo. Atuam na fragmentação de materiais vegetais e animais, aumentando assim, a área superficial das partículas orgânicas para posterior ataque e decomposição pelos microrganismos. Além de também atuarem na incorporação deste material no solo e em fezes de outros invertebrados. Todos esses processos realizados pelos transformadores da serapilheira aceleram o processo de decomposição da matéria orgânica do

solo e, consequentemente, a disponibilização de nutrientes para as plantas (BARETTA et al., 2011; BROW et al., 2015).

O grupo dos predadores foi mais frequente na amostragem de outono, em relação com a primeira época (primavera). No geral, quando comparado entre os SUS, os SRPGs apresentaram maior ocorrência desse grupo, excetuando-se o SRPG4, que apresentou menor frequência do que sua MN referência, tanto na primavera, quanto no outono (Figura 6 – a e b). Kraft (2022), ao avaliar a composição dos grupos funcionais da fauna edáfica em áreas sob sistema plantio direto, no oeste de Santa Catarina, utilizando amostragem por monólitos (TSBF), encontrou frequências similares de predadores.

Os predadores atuam no controle populacional de outros organismos do solo, como microrganismos e insetos pragas, contribuindo para ciclagem de nutrientes e controle biológico natural (BROW et al., 2017). Como esses organismos estão no topo da cadeia alimentar do solo, eles necessitam de uma cadeia trófica bem estabelecida para adequada disponibilidade de alimento. A maior frequência de predadores nas áreas de maior tempo de manejo regenerativo (SRPG6 E SRPG30) pode ser indicativo de uma estrutura trófica bem formada nesses sistemas (SILVA et al., 2018).

A utilização dos grupos funcionais neste estudo auxiliou na separação dos SUS e áreas avaliadas. Em geral, observou-se predomínio dos engenheiros do ecossistema em todas as áreas. O grupo dos predadores pode ser considerado o mais relevante na separação dos sistemas, ocorrendo com maior frequência nos sistemas regenerativos de produção de grãos, principalmente nos com maior tempo de condução dos manejos regenerativos.

4.5 ATIVIDADE ALIMENTAR DA FAUNA EDÁFICA (*BAIT-LAMINA TEST*)

A taxa de consumo alimentar apresentou diferença estatística entre os SUS avaliados, como indicado na Figura 7 – a, b e c. Na primavera, foram observados consumos significativamente maiores nas áreas de lavoura (SRPG4 = 42,63%; SRPG6 = 35,16%; SRPG30 = 45%) em relação as matas nativas (MN4 = 14,24%; MN6 = 13,92%; MN30 = 23,56%). Já, no outono, houve diferença significativa apenas entre o SRPG4 (17,66%) e sua MN (35,22%) referência (Figura 7 – a, b e c).

Os resultados encontrados na primavera diferem do esperado, que seria maior atividade alimentar nas áreas de MN. No entanto, as maiores taxas de consumo nas áreas agrícolas podem ser devido a maior atividade de minhocas encontrada no geral nessas áreas, uma vez que esses

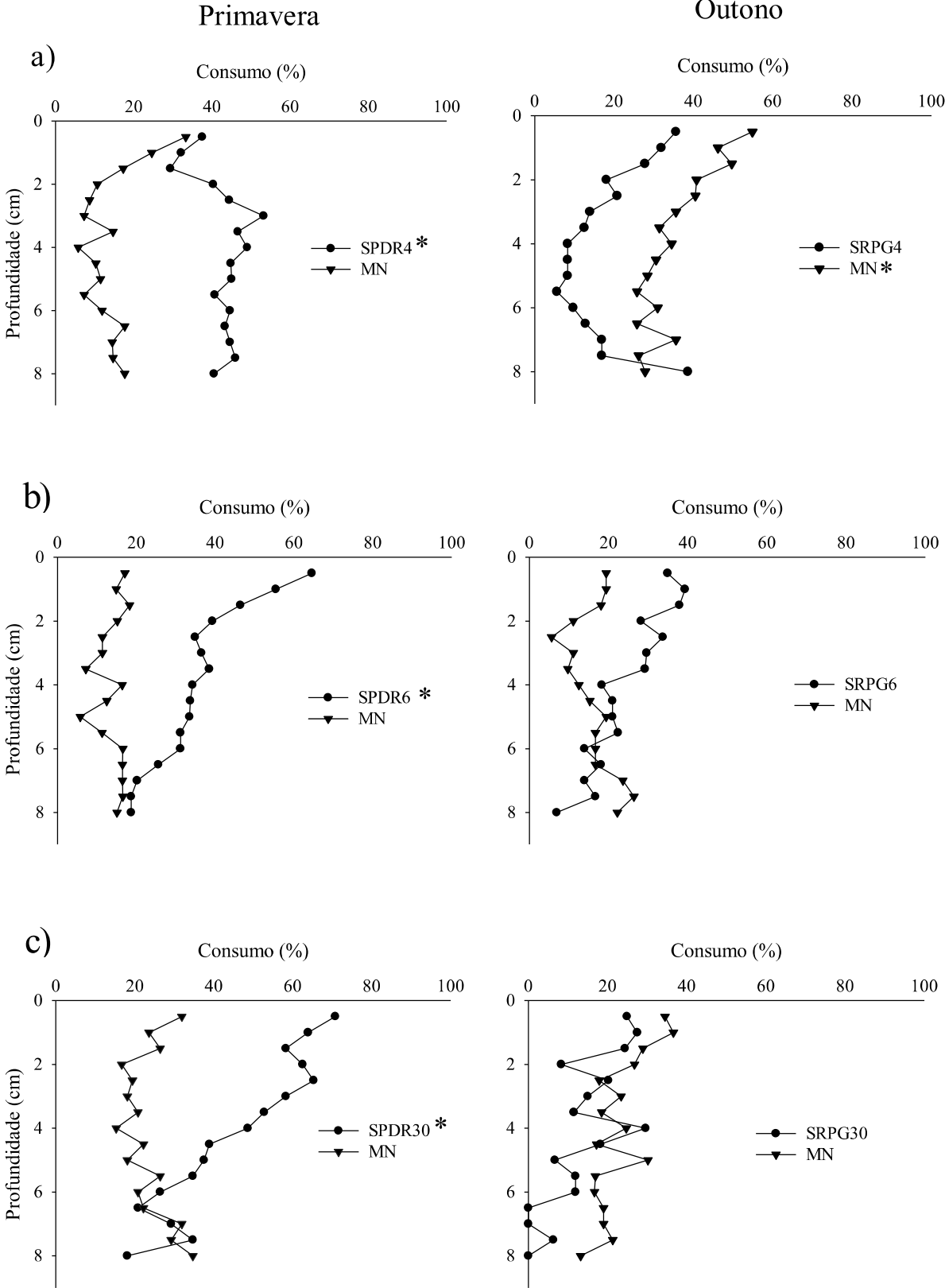
organismos são indicados como os principais consumidores do substrato das iscas de celulose (RÖMBKE et al., 2006). Em um estudo da Embrapa no cerrado brasileiro, Niva et al. (2021) também relataram maior atividade alimentar em áreas agrícolas em comparação a áreas de vegetação natural. Os autores desse estudo argumentam que em áreas naturais a diversidade e disponibilidade de alimento para os invertebrados do solo é maior, deixando as iscas de celulose menos atrativas, e consequentemente refletindo em menor consumo das mesmas.

. Ortiz et al. (2021), ao avaliarem a atividade da fauna por *Bait-lamina* (iscas de celulose) em área de mata nativa, com 14 dias de permanência no campo, no planalto Norte de Santa Catarina, relataram consumo alimentar (10,42%) semelhante aos encontrados nas áreas de MN do presente estudo. Pessotto et al. (2020), avaliando áreas de lavoura anual no Rio Grande do Sul, com 28 dias de permanência das *Bait* no campo, encontraram taxas de consumo alimentar também semelhantes a este trabalho.

De modo geral, quando se observam as taxas de consumo alimentar entre as estações de amostragem, pode ser observado que as áreas de MN apresentaram consumos semelhantes na primavera e outono (excetuando-se a MN4). Por outro lado, as áreas de SRPG tiveram diminuição relativa da taxa de consumo no outono. Esse comportamento pode estar relacionado com a menor temperatura do ar presente no outono (Figura 2), uma vez que em áreas de lavoura a amplitude térmica do ar possui maior influência na temperatura do solo, diferente de áreas de mata, onde se tem um ambiente termicamente mais estável. Segundo Lavelle e Spain (2001), a temperatura é o principal modulador da atividade metabólica da fauna do solo, determinando, juntamente com a umidade, a atividade e distribuição desses organismos no ambiente.

Na comparação entre as áreas de SRPG4 e SRPG30 houve diferença significativa na camada de 0,5 – 4 cm na primavera, com consumos de 21,53 % e 60 % respectivamente. Esse resultado segue a tendência dos dados de abundância da fauna edáfica, que apesar de não ter apresentado diferença estatística, foram expressivamente maiores no SRPG30, em relação ao SRPG4. Bezkorovaynaya et al. (2017), ao avaliarem a fauna do solo em áreas de floresta natural e reflorestamento, demonstraram haver correlação positiva entre a abundância de microartropodes e biomassa da macrofauna com a atividade alimentar (por *Bait-lamina*). Além disso, a maior abundância e atividade alimentar no SRPG30 pode estar evidenciando a melhor qualidade do ambiente para biota do solo no sistema regenerativo mais antigo. Fato este, que ajuda a confirmar a hipótese (I) do presente estudo.

Figura 7 – Taxa de consumo alimentar por Bait-lamina test, entre todos os SRPG e suas respectivas MN referência. (a = SRPG4 x MN na primavera e outono; b = SRPG6 x MN na primavera e outono; c = SRPG30 x MN na primavera e outono). Nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, Brasil.



* = denota diferença estatística ($p < 0,05$) pelo teste de Fisher (LSD).

Fonte: o autor, 2023.

Quando se observa as taxas de consumo da área de SRPG30 no outono, nota-se que o consumo foi bem menor do que o na primavera, não apresentando diferenças estatísticas nas comparações com as MN e o SRPG4, para essa época. Especificamente, em relação a taxa de consumo dessa área, nesta época de avaliação, uma observação é necessária: na semana que foi realizado a retirada e avaliação das lâminas no campo, ocorreu um período prolongado de intensas chuvas, o que obrigou a realização da avaliação (por causa do período de permanência no campo estabelecido) durante forte chuva, resultando em dificuldades para avaliação mais precisa do teste. Este fato, somado a problemas com perdas de lâminas devido à realização da semeadura da cultura de inverno nessa área, fez com que esses dados não possuam uma representatividade adequada. Com isso, se pode entender melhor as taxas de consumo alimentar para essa área no outono, que provavelmente seriam maiores do que as apresentadas na Figura 7 – c.

Outra observação que pode ser feita em relação as taxas de consumo das iscas de celulose (*Bait-lamina*), nas áreas avaliadas, é que na maioria dos casos, as áreas de SRPG apresentaram maior consumo alimentar na camada mais superficial do solo, enquanto as áreas de MN tiveram distribuição de consumo mais uniforme dentro do perfil do solo. Este fenômeno, talvez, possa ser explicado pelo fato de que em áreas de produção agrícola com culturas anuais, os primeiros centímetros de solo concentram a maior parte de raízes ativas de plantas e matéria orgânica, estimulando, conseqüentemente, maior atividade biológica nessa camada. Por outro lado, nas áreas de mata nativa se sabe que a atividade de raízes e distribuição de matéria orgânica se estende até maiores profundidades.

5 CONCLUSÕES

O SRPG com maior tempo de implantação, 30 anos, apresentou maior semelhança dos valores de riqueza média, abundância e índice de diversidade de Shannon-Wiener, com os valores encontrados em sua MN referência, em contraste aos SRPG com menor tempo de implantação (4 e 6 anos) e suas respectivas MN. Além disso, o SRPG de 30 anos apresentou, principalmente, tendência de maior abundância de indivíduos da fauna do solo, quando comparado com o SRPG mais jovem, de 4 anos.

Os grupos Gastropoda, Isoptera, Lepdoptera e Pseudoscorpionida foram encontrados apenas nas áreas de MN, enquanto que o grupo larva de Lepdoptera ficou restrito às áreas de SRPG. Os grupos Oligochaeta e Chilopoda ficaram mais associados ao SUS de SRPG, enquanto que Formicidae, Coleoptera e larva de Coleoptera ficaram mais associados às áreas de MN.

As variáveis explicativas do solo, físicas e químicas, que se destacaram nas correlações com os grupos da fauna e a atividade alimentar foram: potássio, potencial hidrogeniônico, cálcio, porosidade total, bioporos, diâmetro médio ponderado de agregados, resistência à penetração e densidade do solo.

A densidade média de minhocas (Oligochaeta) foi significativamente maior no SRPG de 30 anos, quando comparado ao SRPG de 4 anos, ajudando a confirmar a influência do maior tempo de condução do sistema sobre o favorecimento da saúde do solo.

A utilização dos grupos funcionais neste estudo auxiliou na separação dos diferentes SUS entre as áreas avaliadas. Em geral, observou-se um predomínio dos engenheiros do ecossistema tanto nas áreas de MN quanto em SRPG. O grupo dos predadores pode ser considerado o mais relevante na separação dos sistemas, ocorrendo com maior frequência nos SRPG, principalmente nos com maior tempo de condução dos manejos regenerativos, indicando maior equilíbrio no sistema.

A avaliação da atividade alimentar da fauna edáfica, pelo método do *Bait-lâmina* (iscas de celulose) serviu como complemento aos resultados gerados na amostragem por monólitos de solo (TSBF). O SRPG de 30 anos apresentou consumo alimentar das iscas significativamente maior do que o SRPG de 4 anos. Contudo, diferente dos dados de abundância e diversidade da fauna, foram encontrados maiores taxas de consumo alimentar nas áreas de SRPG, sugerindo que esse teste, talvez, não seja o mais adequado na comparação entre áreas de sistemas agrícolas e de mata nativa, devido às diferentes condições de ambiente entre os dois sistemas.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, D. **Fragmentação da paisagem e estrutura da comunidade de invertebrados edáficos**. 166 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2019.
- ALVARES C. A.; STAPE J. L.; SENTELHAS P. C.; ALVES J. L. G.; SPAROVEK G. Koöppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Vol. 22, No. 6, 711–728, 2013.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical Soil Biology and Fertility: a handbook of methods**. Wallingford: Oxford University Press, 1993.
- BARETTA, D.; BROWN G. G.; CARDOSO, E. J. B. N. Potencial da macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores da qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. **Acta Zool Mexicana**. 26:135-50, 2010.
- BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; ALVES, M. V. Fauna Edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 7, p. 141-192, 2011.
- BARETTA, D., LUISE, M., BARTZ, C., FACHINI, I., ANSELM, R., DUARTE, R., & BARETTA, M. Fauna edáfica e sua relação com variáveis ambientais em sistemas de manejo do solo. **Revista Ciência Agronômica**, 5, 871–879. 2014.
- BARTZ, M.L.; BROWN, G.G.; PASINI, A.; FERNANDES, J.O.; CURMI, P.; DORIOZ, J. & RALISCH, R. Earthworm communities in organic and conventional coffee cultivation. **Pesq. agropec. bras.**, 44: 928-933, 2009.
- BARTZ, M.L.C., PASINI, A., BROWN, G.G. Earthworms as soil quality indicators in Brazilian no-tillage systems. **Appl. Soil Ecol.** 69, 39–48, 2013.
- BARTZ, M. L. C.; BROWN, G.G.; ORSO, R.; MAFRA, A. L.; BARETTA, D. The influence of land use systems on soil and surface litter fauna in the western region of Santa Catarina. **Revista Ciência Agronômica**, v. 5, p. 880–887, 2014.
- BARTZ, M. L. C., BROWN, G. G.; ROCHA, E.; TESTA, M. A.; & BARETTA, D. Minhocas como indicadores de qualidade em sistema de plantio direto em Santa Catarina. **XXX congresso brasileiro de zoologia**, 2014.
- BETTIOL, W. Conversão de Sistemas de Produção. **Métodos Alternativos de Controle de Insetos-praga, Doenças e Plantas Daninhas: Panorama Atual e Perspectivas**. Capítulo 13, 2008. - p.289-308.
- BEZKOROVAYNAYAA I. N.; EGUNOVAB, M. N.; TASKAEVAC, A. A. Soil Invertebrates and Their Trophic Activity in 40-Year-Old Forest Stands. 2017.
- BLANCHART, E.; ALBRECHT, A.; BROWN, G., DECAENS, T.; DUBOISSET, A.; LAVELLE, P.; MARIANI, L. & ROOSE, E. Effects of tropical endogeic earthworms on soil erosion. **Agric. Environ.** 12:303–315, 2004.

BRIONES, M. J. I. The serendipitous value of soil fauna in ecosystem functioning: the unexplained explained. **Front. Environ. Sci.** 6:149. doi: 10.3389/fenvs.00149. 2018.

BROWN G. G.; FRAGOSO C.; BAROIS I.; ROJAS P.; PATRON J. C.; BUENO J.; MORENO A. G.; LAVELLE P.; ORDAZ V.; RODRÍGUEZ C. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. **Acta Zoológica Mexicana: Nueva Série, Xalapa**, n. especial, p. 79-110, 2001.

BROWN, G.G.; BENITO, N. P.; PASINI, A.; SAUTTER, K. D.; GUIMARÃES, M. F.; TORRES, E. No-tillage greatly increases earthworm populations in Paraná state, Brazil. **Pedobiologia**, 47, 764–771. 2003.

BROWN, G. G.; NIVA, C. C.; ZAGATTO, M. R. G.; FERREIRA, S. A.; NADOLNY, H.; CARDOSO, G. B. X.; PASINI, A.; BARTZ, M. L.; SAUTTER, K. D.; THOMAZINI, M. J.; BARETTA, D.; MARTINEZ, G. A.; SILVA, E.; ANTONIOLLI, Z. I.; DECAENS, T.; LAVELLE, P.; SOUSA, J. P. F. A. and CARVALHO, F. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: Parron, L. M.; Garcia, J. R.; Oliveira, E. B.; Brown, G. G. and Prado, R. B. (Eds), **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**, 1st ed., Brasília, Embrapa, pp. 121–54, 2015.

BROWN, G. G.; SILVA, E.; THOMAZINI, M. J.; NIVA, C. C.; DECAENS, T.; CUNHA, L. F. N.; NADOLNY, H. S.; DEMETRIO, W. C.; SANTOS, A. et al. The role of soil fauna in soil health and delivery of ecosystem services. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. 1ed. Embrapa, Brasília, pp. 121–154. 2017.

CLAESSEN, M. E. C. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2^a.ed. Rio de Janeiro: Embrapa; 1997.

CUNHA E. Q. et al. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. ii - atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 603-611, 2011.

DAVERKOSEN, L., HOLZKNECHT, A., FRIEDEL, J. K., KELLER, T., STROBEL, B.W., WENDEBERG, A., & JORDAN, S. (2022). The potential of regenerative agriculture to improve soil health on Gotland, Sweden. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, 185, 901–914.

DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis. **American Society of Agronomy**, 1: 545-566. 1965.

D'HOSE, T. et al. Responses of soil biota to non-inversion tillage and organic amendments: An analysis on European multiyear field experiments. **Pedobiologia - Journal of Soil Ecology**, v. 66, p. 18-28, 2018.

DUDAS, R.; DEMETRIO, W.; NADOLNY, H.; BROWN, G. et al. Declínio das populações de minhocas no PD. **Plantio Direto**, 2020.

FENSTER, T. L. D.; OIKAWA, P. Y and LUNDGREN, J. G. Regenerative Almond Production Systems Improve Soil Health, Biodiversity, and Profit. **Front. Sustain. Food Syst.** 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Save and Grow in practice maize · rice · wheat. **A guide to sustainable cereal production**, Rome, 2016.

GEE, G.W. & BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. American Society of Agronomy, 1: 383-411, 1986.

GUIMARÃES, R. N. et al. Production of phosphate biofertilizer through composting and vermicomposting process. **Comunicata Scientiae**, v. 8, n. 3, p. 32-443, 2017.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, D. PAST: Paleontological Statistics Software Package. for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica** 4(1):p. 9. 2001.

HEISLER C.; KAISER E. A. Influence of agricultural traffic and crop management on Collembola and microbial biomass in arable soil. **Biol. Fert. Soils**, 19:159-165, 1995.

HLPE (High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition). **Sustainable agricultural development for food security and nutrition: what roles for livestock?** Rome: A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security; 2016.

ILLER, K. E.; GILLER, R.; HIJBEEK, J. A.; ANDERSSON, J. **Sumberg Regenerative agriculture: an agronomic perspective**. 2021.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa em Solos, Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/15829-solos.html>>.

ISO - **International Organization for Standardization** (2016) ISO 18311: Soil quality—method for testing effects of soil contaminants on the feeding activity of soil dwelling organisms—bait-lamina test. ISO, Geneva.

IPCC. **Summary for policymakers: Special report on climate change and land**. Climate Change and Land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable landmanagement, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. 2020.

JORDON, M.W., P. SMITH, P. R.; LONG, P. C.; BÜRKNER, G.; PETROKOFISKY, K. J. Can Regenerative Agriculture increase national soil carbon stocks? Simulated country-scale adoption of reduced tillage, cover cropping, and ley-arable integration using RothC Sci. **Total Environ.**, 825, Article 153955, 2022.

JUNIOR, J. S. Z. et al. Manejo agroecológico de pragas: alternativas para uma agricultura sustentável. **Revista Científica Intelletto**. Venda Nova do Imigrante, ES, Brasil v.3, n.3, p. 18-34, 2018.

KRAFT, E. **Indicadores biológicos de qualidade do solo e suas relações com a produtividade de soja (*Glycine max* L.) no Oeste Catarinense**. 112 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2018.

KRAFT, E.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; CARNEIRO, M. C.; KLAUBERG-FILHO, O.; C. BARETTA, R. D. M.; BARETTA, D. Edaphic fauna affects soybean productivity under no-till system. **Sci. Agric.** v.78, n.2, e20190137, 2021.

KRAFT, E. **Relações de indicadores biológicos do solo com a produtividade da soja em sistema plantio direto no oeste de Santa Catarina.** 171 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2022.

KEMPER W. D.; CHEPIL W. S. Size distribution of aggregation. In: Black CA, editor. **Methods of soil analysis.** Madison: American Society of Agronomy. p.499-510. 1965.

LAL, R. **Métodos para a avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos.** Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 97p. 1999.

LAL, R. Regenerative agriculture for food and climate. **J Soil Water Conserv.** In press. 2020.

LANGENBACH, T.; INACIO, M.V.S.; AQUINO, A.M. & BRUNNINGER, B. Influência da minhoca *Pontocolex corethrurus* na distribuição do acaricida dicofol em um Argissolo. **Pesq. Agropec.** Brasil., 37:13-18. 2002.

LAVELLE, P.; BLANCHART, E.; MARTIN, A.; SPAIN, A. V.; MARTIN, S. Impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. In: LAL, R.; SANCHEZ, P. (Ed.). **Myths and science of soils of the tropics.** Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, (SSSA Special Publication, 29). p. 157-185. 1992.

LAVELLE, P.; BIGNELL, D.; LEPAGE, M.; WOLTERS, V.; ROGER, P.; INESON, P.; HEAL, O. W. and GHILLION, S. Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers , **European Journal of Soil Biology** , 33 , 159–93, 1997.

LAVELLE, P. & SPAIN, A. **Soil ecology.** Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 654p. 2001.

LAVELLE, P.; DECAËNS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P.; ROSSI, J. P. Soil invertebrates and ecosystem services. **Eur. J. Soil Biol.** 42, S3–S15. 2006.

LAVELLE P.; SPAIN A.; BLOUIN A.; BROWN G. G.; DECAËNS T.; GRIMALDI M.; JIMÉNEZ J. J.; MCKEY D.; MATHIEU J.; VELASQUEZ E.; ZANGERLÉ A. **Ecosystem Engineers in a Self-organized Soil: A Review of Concepts and Future Research Questions.** Soil Science. Vol. 181, Number 3/4, 2016.

LOUZADA, J. N. C. Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) Detritivos em Ecossistemas Tropicais: Diversidade e Serviços Ambientais. In: MOREIRA, F. M.S; SIQUEIRA, J.O. & BRUSSAARD, L. **Biodiversidade do Solo em Ecossistemas Brasileiros.** Lavras, Ed, UFLA, p.299-322, 2008.

MACHADO, M. A. & RHODEN, A. C. Aplicação da agricultura regenerativa no brasil: estudo de caso no oeste catarinense. **Anais da agronomia 2021/2, UCEFF Faculdades,** 2021.

MARICHAL, R. et al. Soil macroinvertebrate communities and ecosystem services in deforested landscapes of Amazonia. **Applied Soil Ecology**, v. 83, p. 177–185, 2014.

MOÇO, M. K. S.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. & CORREIA, M. E. F. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte Fluminense. **R. Bras. Ci. Solo**, 29:555-564, 2005.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 27, p. 31-36, 1962.

NEWTON, P.; CIVITA N, FRANKEL-GOLDWATER, L; BARTEL, K. and JOHNS C. What Is Regenerative Agriculture? A Review of Scholar and Practitioner Definitions Based on Processes and Outcomes, 2020.

OLIVEIRA, I. R. P. et al. Diversidade de formigas (Hymenoptera; Formicidae) edáficas em três estágios sucessionais de mata atlântica em São Cristóvão, Sergipe. **Agroforestalis News**, v. 1, n. 1, p. 48-58, 2016.

OLIVEIRA-FILHO, L. C. I.; BARETTA, D. Por que devemos nos importar com os colêmbolos edáficos? **Scientia Agraria**. Versão Impressa ISSN 1519-1125SA vol. 17nº. 2Curitiba abril/maio. 21-40, 2016.

ORTIZ, D. C.; SOUZA, T. A. F.; PECH, T. M.; BARTZ, M. L. C.; BARETTA, D.; SIMINSKI, A.; NIEMEYER, J. C. Soil ecosystem changes by vegetation on old-field sites over five decades in the Brazilian Atlantic forest. **Northeast Forestry University**, 2021.

PANKHURST, C. E.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. Biological indicators of soil health: synthesis. In: PANKHURST, C. E.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. (ed.). **Biological Indicators of Soil Health**. Wallingford: CAB International. p. 419-435. 1997.

PERON, R. A. S.; TOMAZELLI, D.; KRAFT, E.; BALDISSERA, T. C.; BARETTA, D.; PINTO, C. E; GOSS-SOUZA, D.;de OLIVEIRA FILHO, L.C. I. & KLAUBERG-FILHO, O. Grassland management intensification affects the soil fauna in a subtropical highland. **Association of Applied Biologists. Annals of Applied Biology**, 1–14.12833, 2023.

PESSOTTO, M. D. F. et al. Relação do uso do solo com a diversidade e a atividade da fauna edáfica. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**, Nativa, Sinop, v. 8, n. 3, p. 397-402, mai./jun. 2020.

POMPEO, P. N.; SANTOS, M. A. B.; BIASI, J. P.; SIQUEIRA, S. F.; ROSA, M. G.; BARETTA, C. R. D. M.; BARETTA, D. Fauna e sua relação com atributos edáficos em Lages, Santa Catarina. **Scientia Agraria**, versão Impressa ISSN 1519-1125, SA vol. 17 nº. 1 Curitiba jan/mar. p. 42-51 – Brasil. 2016.

POMPEO, P. N. **Biodiversidade de invertebrados e sua relação com atributos edáficos, usos do solo e composição da paisagem em santa catarina**. Tese (doutorado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 233 p., Lages, 2020.

RAMOS et al. Edaphic fauna in soil profile after three decades of different soil management and cover crops in a subtropical region (Postprint version). 2021.

RHODES, C. J. The imperative for regenerative agriculture. **Sci Prog**; 100(1): 80–129. 2017.

RÖMBKE, J.; HÖFER, H.; GARCIA, M. V. B.; MARTIUS, C. Feeding activities of soil organisms at four diferente forest sites in Central Amazonia using the bait lamina method. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 22, n. 3, p. 313–320, 2006.

ROSA, M. G.; KLAUBERG FILHO, O.; BARTZ, M. L. C.; MAFRA, Á. L.; SOUSA, J. P. F. A. Macrofauna edáfica e atributos físicos e químicos em sistemas de uso do solo no planalto catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1544-1553, 2015.

RUIZ N.; LAVELLE P.; JIMÉNEZ J. **Soil Macrofauna: field manual**. Rome: FAO. 113 p. 2008.

RUGGIERO, M. A. et al. A higher level classification of all living organisms. **Plos One**, v. 10, p. 1-60, 2015.

SCHREEFEL, L, SCHULTE, R. P. O.; de BOER I. J. M. et al.: Regenerative agriculture – the soil is the base. **Glob Food Sec**; 26: 100404. 2020.

SEARCHINGER, T.; WAITE, R.; HANSON, C.; RANGANATHAN, J.; DUMAS, P.; MATTHEWS, E., et al. Creating a sustainable Food Future: A Menu of Solutions to Feed Nearly 10 Billion People by 2050. Washington, DC: **World Resources Ins**, 2019.

SCHIEBELBEIN, B. E.; CARVALHO, M. L.; LOCATELLI, J. L.; MENDONÇA, R. S. V. RODRIGUES, Y. F.; CHERUBIN, M. Plantas de cobertura e as inter-relações com a saúde do solo. - Piracicaba: SolloAgro/ESALQ/USP, 44 p., 2022.

SILVA, R. A.; SIQUEIRA, G. M.; COSTA, M. K. L.; GUEDES FILHO, O.; SILVA, E. F. F. Spatial variability of soil fauna under different land use and managements. **Ver. Bras. Cienc. Solo**. 42:e0170121, 2018.

SILVA, D. C. et al. Fauna edáfica como indicadora de qualidade do solo em fragmentos florestais e área sob cultivo do cafeeiro. **Braz. J. of Develop**. Curitiba, v. 6, n. 3, p.14795-14816, mar. 2020.

SILVA, R. A. & SIQUEIRA G. M. Edaphic fauna and physico-chemical attributes of soil in different phytophysionomies of Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v.26, n.2, p.103-110, 2022.

SINGH, I.; HUSSAIN, M.; MANJUNATH, G.; CHANDRA, N. and RAVIKANTH, G. Regenerative agriculture augments bacterial community structure for a healthier soil and agriculture, **Front. Agron**. 5:1134514, 2023.

SWIFT M. J.; HEAL O. W.; ANDERSON J. M. Decomposition in terrestrial ecosystems. Blackwell Scientifis Publi., Oxford, 372., 1979.

TAN, S. S.X.; KUEBBING, S. E. A synthesis of the effect of regenerative agriculture on soil carbon sequestration in Southeast Asian croplands. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. Volume 349, 15 June, 2023.

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

TELLES, T. S.; LOURENÇO, M. A. P.; OLIVEIRA, J. F.; COSTA, G. V.; BARBOSA, G. M. C..Soil conservation practices in a watershed in Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.93, n.3, 2019

TER BRAAK C. J. F.; SMILAUER, P. **Canoco reference manual and user's guide: software for ordination** (version 5.0). Microcomputer Power (Ithaca, NY, USA), 496 pp, 2012.

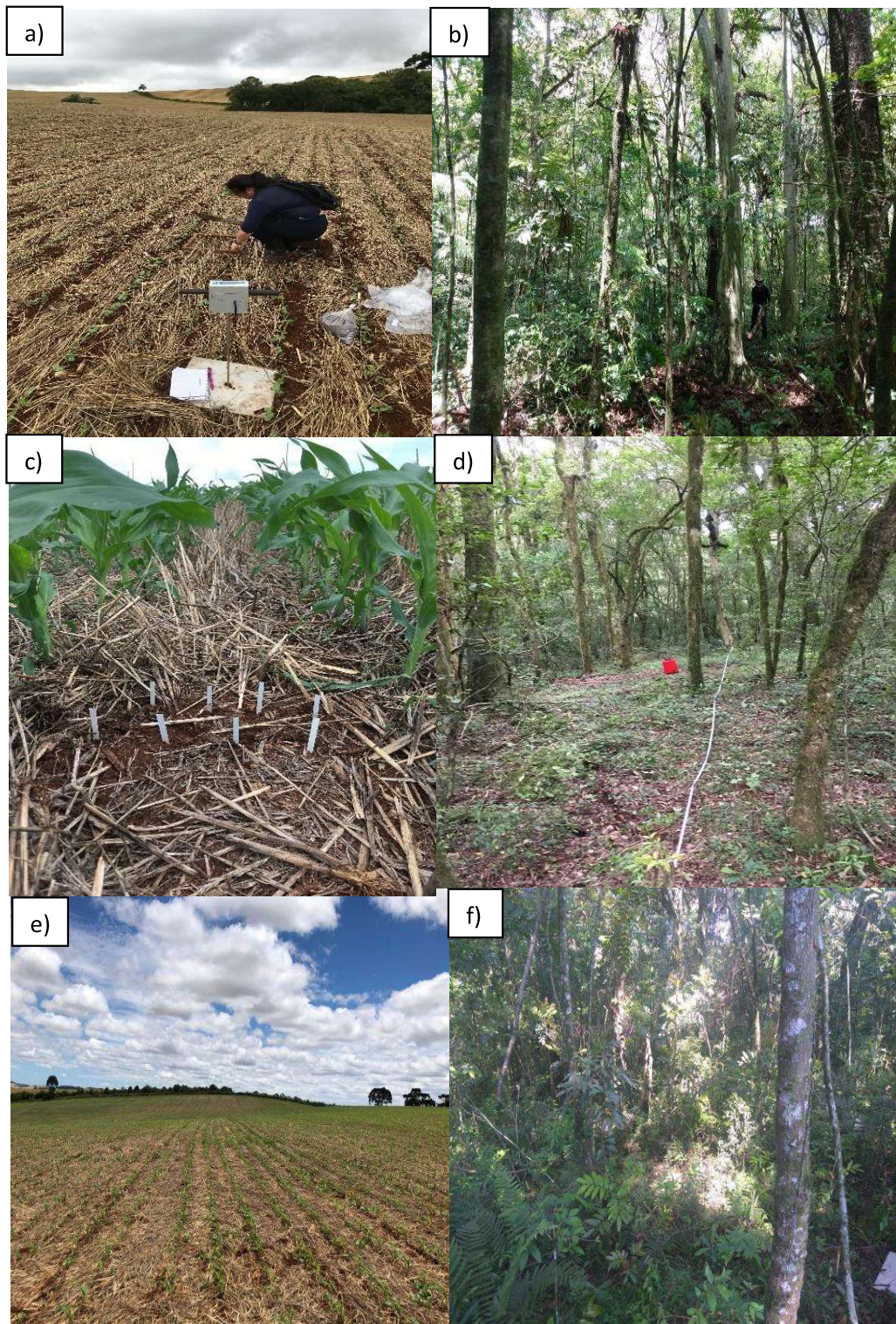
VIANNA, L. F.N. Pesquisa agropecuária: uma análise histórica da produção científica da Epagri. Universidade do Estado de Santa Catarina. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, SC, Brasil (ISSN 2238-1171). Universidade do Estado de Santa Catarina. 2022.

VON TÖRNE E. Assessing feeding activities of soil living animals. I. Bait lamina test. **Pedobiologia**,34: 89-101. 1990.

ZHANG, X. et al. The taxon-and functional trait-dependent effects of field margin and landscape composition on predatory arthropods in wheat fields of the North China Plain. **Insect Conservation and Diversity**, p. 1-12, 2020.

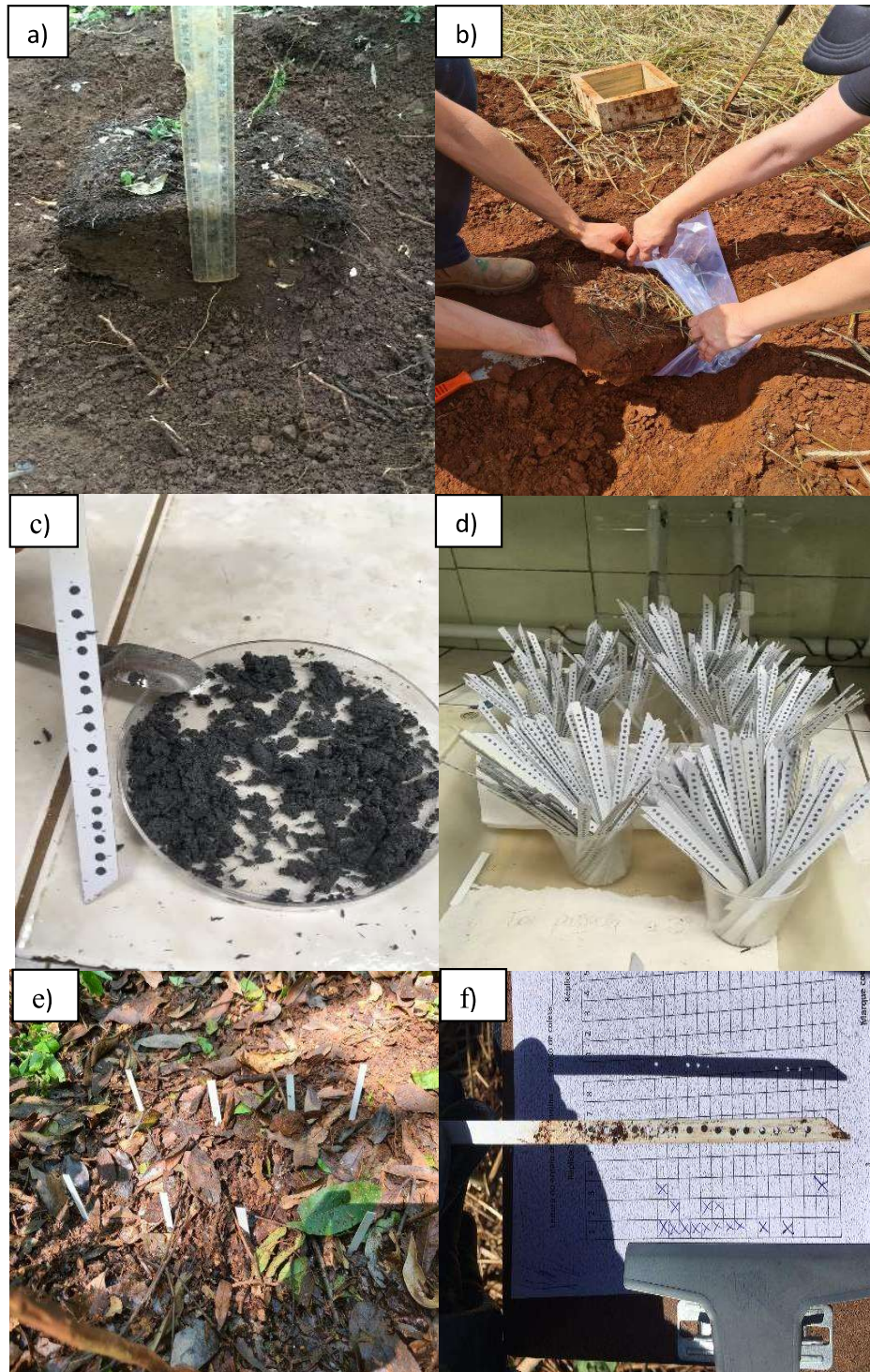
APÊNDICES

APÊNDICE A – Áreas de lavoura (SRPG) e matas nativas (MN) referência, na primavera de 2021 (Início do ciclo das culturas de verão), nos municípios de Campos Novos, Zortéa/SC e Vacaria/RS. SRPG4 e MN (a; b); SRPG6 e MN (c; d); SRPG30 e MN (e; f).



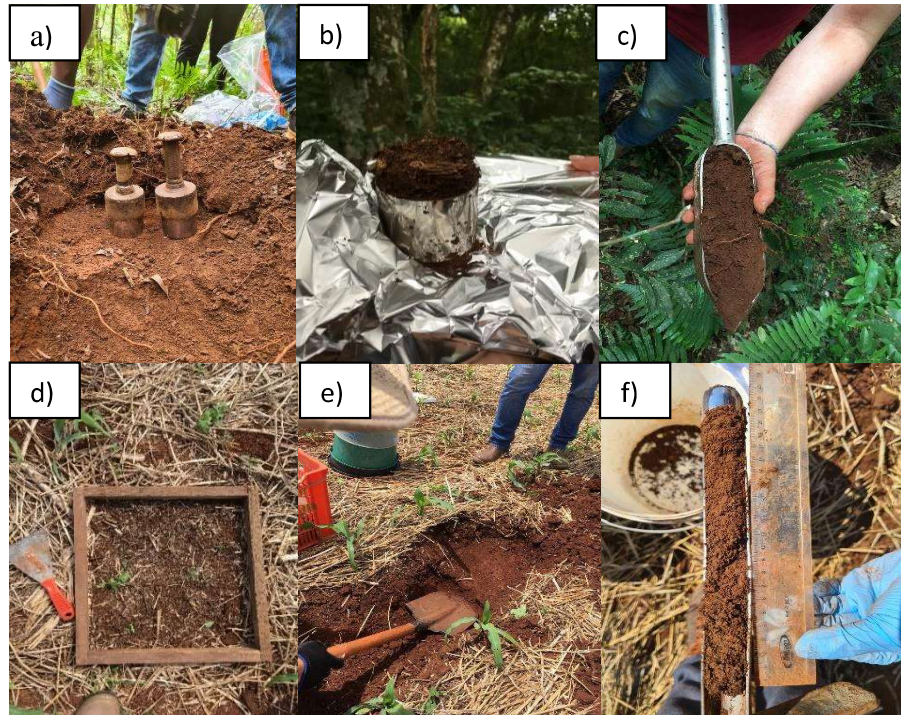
Fonte: o autor, 2023.

APÊNDICE B – Detalhe da amostragem da fauna por TSBF (a e b), preparação e montagem do teste do *Bait-lamina* (c e d), exposição no campo (e) e avaliação (f).



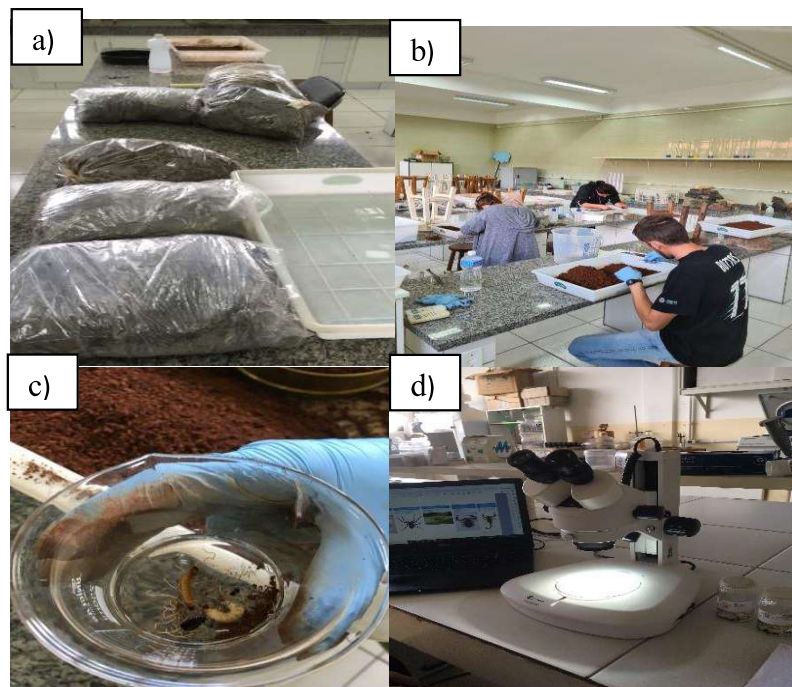
Fonte: o autor, 2023.

APÊNDICE C – Amostragem de anéis volumétricos (a e b), solo para análises químicas (c), serapilheira (d), solo para estabilidade de agregados (e) e solo para determinação do carbono orgânico total (f).



Fonte: o autor, 2023.

APÊNDICE D – Triagem e identificação dos organismos da fauna edáfica, no laboratório de solos do Centro de Ciências Agroveterinárias, CAV-UDESC/Lages-SC (a, b, c e d).



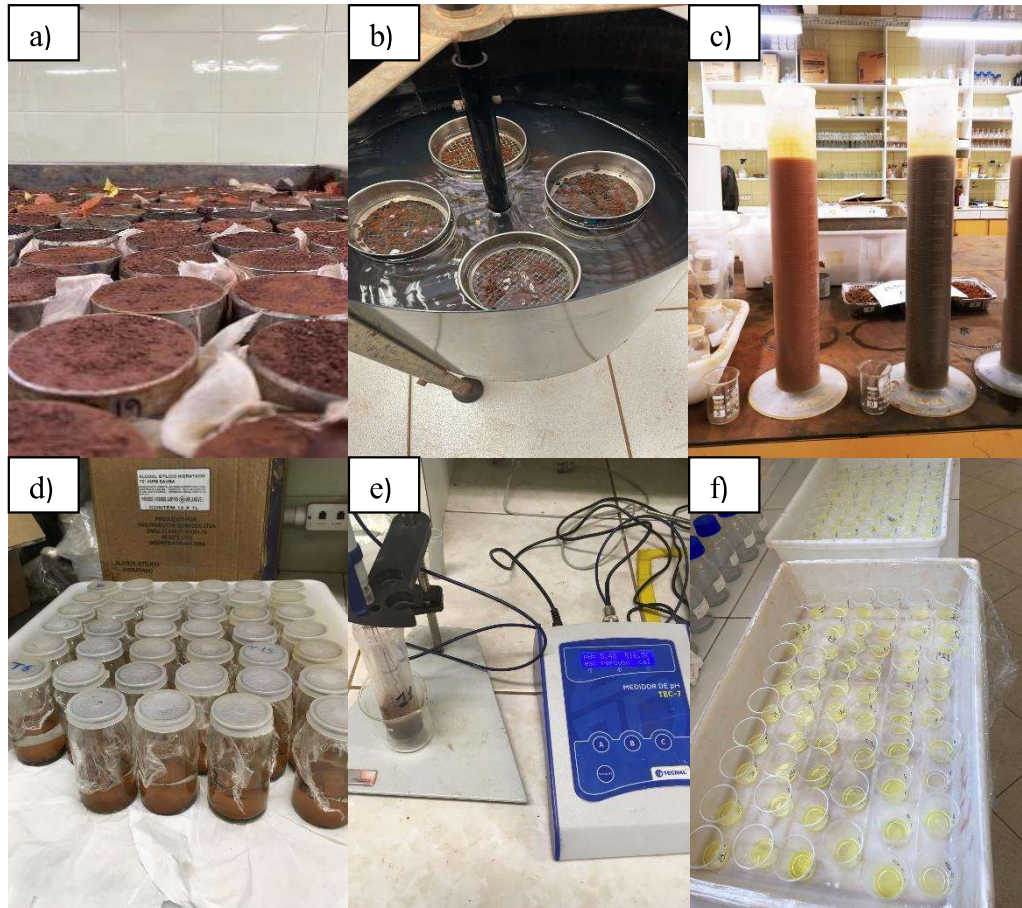
Fonte: o autor, 2023.

APÊNDICE E – Destaques de organismos da fauna edáfica identificados durante o estudo, nas duas épocas de amostragem. Araneas (a); Formicidae (b); Coleoptera (c); Oligochaetas (d); Hemiptera (e); Pseudoescorpionida (f); Dermaptera (g); Chilopoda (h); Diplopoda (i).



Fonte: o autor, 2023.

APÊNDICE F – Recortes das análises físicas e químicas do solo realizadas no laboratório de física e manejo, do CAV-UDESC. Determinação de porosidade (a); estabilidade de agregados (b); Granulometria (c); extração de nutrientes trocáveis (d); determinação do pH (e); amostras prontas para leitura de fósforo (f).



Fonte: o autor, 2023.