

**PÂMELA NIEDERAUER POMPEO**

**BIODIVERSIDADE DE INVERTEBRADOS E SUA RELAÇÃO COM ATRIBUTOS  
EDÁFICOS, USOS DO SOLO E COMPOSIÇÃO DA PAISAGEM EM SANTA  
CATARINA**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Ciência do Solo.

Orientador: Dilmar Baretta

Coorientador: Osmar Klauberg Filho

**Lages, SC  
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da  
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Pompeo, Pâmela Niederauer  
Biodiversidade de invertebrados e sua relação com atributos  
edáficos, usos do solo e composição da paisagem em Santa Catarina  
/ Pâmela Niederauer Pompeo. -- 2020.  
233 p.

Orientador: Dilmar Baretta  
Coorientador: Osmar Klauberg Filho  
Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina,  
Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação  
em Ciência do Solo, Lages, 2020.

1. Bioindicadores. 2. Ecologia do solo. 3. Fragmentação da  
paisagem. 4. Besouros. 5. Comunidades edáficas. I. Baretta, Dilmar.  
II. Klauberg Filho, Osmar. III. Universidade do Estado de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de  
Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Título.

**PÂMELA NIEDERAUER POMPEO**

**BIODIVERSIDADE DE INVERTEBRADOS E SUA RELAÇÃO COM ATRIBUTOS  
EDÁFICOS, USOS DO SOLO E COMPOSIÇÃO DA PAISAGEM EM SANTA  
CATARINA**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Ciência do Solo.

**Banca Examinadora:**

Orientador:



(Dr. Dilmar Baretta)  
UDESC

Membros:



(Dr.ª Letícia Sequinatto)  
UDESC



(Dr. Luís Carlos Iuñes de Oliveira Filho)  
Universidade Federal de Pelotas - UFPel



(Dr. José Paulo Filipe Afonso de Sousa)  
Universidade de Coimbra - UC



(Dr. Paulo Roger Lopes Alves)  
Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

**Lages, 31 de julho de 2020**



## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos que contribuíram para a realização deste trabalho. À minha família, meu pai Carlos e minha mãe Márcia pelo incentivo, amor, paciência e confiança em todos os momentos. Também a minha tia e madrinha Maristela e minha vó Íria por apoiarem e acreditarem no meu sucesso. Ao meu companheiro Rodrigo, pelo apoio diário, paciência, compreensão e por caminhar ao meu lado na jornada da Pós-Graduação.

Aos colegas e amigos Douglas Alexandre e Ana Carolina Lovatel pelas conversas, parceria de projeto, coletas a campo, análises de laboratório e apoio constante. Ao Dr. Luís Carlos Iuñes de Oliveira Filho pelas revisões da escrita, parceria de projeto, coletas de campo e conselhos para o trabalho acadêmico. Aos colegas Elston Kraft e Gustavo Ferreira pela ajuda incessante nas viagens e coletas de solo no campo, durante vários dias, independente da falta de luminosidade ou condições climáticas adversas.

À Vanessa Mignon Dalla Rosa, seus pais e irmãos, por me acolherem em sua casa como um membro da família durante vários dias, para a realização das coletas a campo em Chapecó e região. Essa ajuda foi primordial para a realização da tese, em um momento de recursos orçamentários reduzidos. Serei sempre grata pela bondade e amizade dedicadas a mim e aos meus parceiros de projeto.

Aos colegas de trabalho do Laboratório de Ecologia do Solo da UDESC de Lages-SC, por toda a amizade e contribuição ao longo desses quatro anos de Doutorado, também pelas triagens da fauna edáfica e análises de solo. A todos os laboratórios do Departamento de Solos e Recursos Naturais da UDESC de Lages pelo auxílio. Aos membros integrantes dos laboratórios de Solos da UNOCHAPECÓ e da UDESC de Chapecó, pelas análises de respiração basal do solo, coletas a campo e triagem da fauna. À Professora Dra. Letícia Sequinatto e à Suelen Müller, parceiras de projeto, pela contribuição nas classificações dos solos e criação dos mapas de classes de solo das paisagens da região Oeste de Santa Catarina.

À amiga Dr. Letícia Scopel, por me receber em Coimbra durante o Doutorado Sanduíche, pelas dicas, conselhos e ajuda sincera, que tornaram minha experiência no exterior mais tranquila e satisfatória. Aos parceiros da sala dos Doutorandos do Colégio de Jesus e do Laboratório de Ecologia e Ecotoxicologia de Solo, no Centro para Ecologia Funcional da Universidade de Coimbra, por me estenderem a mão, me receberem de coração aberto, pela ajuda e amizade.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Dilmar Baretta, pela oportunidade de desenvolver esse estudo, pela ajuda, apoio e por contribuir para o meu futuro profissional. Ao meu coorientador Prof. Dr. Osmar Klauberg Filho, pela contribuição no projeto, por acreditar no meu potencial e

pelos conselhos diários. Aos Professores do meu comitê de orientação, Dra. Carolina Riviera Duarte Maluche Baretta e Dr. Álvaro Luiz Mafra, pelo apoio sempre que necessário.

Ao Professor Dr. José Paulo Filipe Afonso de Sousa e ao Dr. Pedro Martins da Silva da Universidade de Coimbra, por me orientarem durante o período que estive em Coimbra, Portugal. Agradeço o empenho, as reuniões e as horas dedicadas ao *brainstorming*, que foram essenciais para o desenvolvimento dessa tese.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior - Brasil (CAPES), pelo apoio financeiro do Doutorado no Brasil e do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (Código de Financiamento 001). Agradeço ao suporte da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) (número do processo 2019TR617 / FAPESC) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (processo número 563251 / 2010-7 / CNPq).

Aos proprietários e produtores rurais dos municípios de Chapecó, Pinhalzinho e São Miguel do Oeste, Sr. Zanrosso, Sr. Paulo e Sra. Nice, Sr. Jorge, Sr. Maldaner, Sr. Patrick, Sr. Clóvis, Sr. Stefani, Sr. Romani, Sr. Pandolfo e Sra. Oriete, Sr. Rigoni, Sr. Valdir, Sr. Paulo, Sra. Rose, por autorizarem as coletas de solo para a realização do “Projeto Paisagens do Oeste de Santa Catarina”. Aos motoristas da UDESC Lages e UDESC Chapecó pela importante contribuição durante o trabalho de campo.

Ao programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, pela oportunidade de realizar o Doutorado acadêmico, principalmente ao Prof. Dr. Jackson Adriano Albuquerque e a Melissa Pierdona. Aos professores, servidores e técnicos da UDESC, que com seu trabalho diário contribuem para o ensino, pesquisa e extensão da Universidade.

À todas as pessoas que participaram das etapas de coletas de solo e análises do projeto SisBiota/SC e das Paisagens do Oeste Catarinense. Agradeço aos meus familiares, amigos e conhecidos, não nominados aqui, que apoiaram minhas escolhas durante o período do doutoramento. Obrigada!

## RESUMO

O objetivo do estudo foi avaliar a distribuição biogeográfica de comunidades de coleópteros edáficos, também a relação das comunidades da fauna do solo com as variáveis ambientais explicativas, a fragmentação da paisagem e os usos da terra em Santa Catarina, Brasil. A pesquisa foi dividida em duas etapas. A primeira etapa foi realizada ao longo de um gradiente geográfico (escala regional), envolvendo quatro regiões (Oeste, Planalto, Leste e Sul) e cinco sistemas de uso do solo (SUS) (plantio direto, integração lavoura-pecuária, pastagem, reflorestamento de eucalipto e floresta nativa), em três municípios de cada região. Foram analisados coleópteros coletados em grade de amostragem com nove pontos, distanciados entre si em 30 m, no inverno e verão. Na segunda etapa utilizaram-se avaliações da fauna do solo (escala da paisagem) em três municípios da região Oeste (Chapecó, Pinhalzinho e São Miguel do Oeste). Em cada uma das paisagens foi estabelecida uma grade amostral dentro de uma janela com diâmetro de 1 km e pontos de coleta com aproximadamente 167 m de distância entre si. Os métodos de coleta dos invertebrados envolveram a escavação de monólitos de solo, armadilhas de queda e *cores*. Também foram avaliados atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo e considerados como variáveis ambientais explicativas nas análises estatísticas. Os resultados encontrados para a escala regional, foram que as regiões Leste e Sul são mais parecidas entre si, em relação as comunidades de morfoespécies de coleópteros, assim como Planalto e Oeste. Os atributos do solo pH, relação Ca/Mg, Mg, carbono orgânico total, areia, umidade, macroporos, densidade do solo, carbono microbiano e respiração microbiana, apresentaram relação significativa com a distribuição dos coleópteros, mas essa contribuição foi dependente das variáveis de manejo, classe de solo e espaciais. Os coleópteros com diferentes adaptações a vida no solo, apresentaram dissimilaridades entre os SUS, a pastagem apresentou a maior diversidade funcional em relação as formas de vida epígeas, hemiedáficas e edáficas. Os resultados para a escala da paisagem demonstraram dissimilaridades da comunidade da fauna do solo entre os fragmentos dos SUS. As variáveis ambientais usos, macroporos, nitrogênio do solo, espaço de aeração, perímetro dos fragmentos e peso seco da liteira contribuíram na explicação da composição de coleópteros do solo nas paisagens estudadas. A abundância e o tamanho do corpo dos coleópteros variam dependendo do SUS e da cobertura vegetal, demonstrando aumento nas amostras com usos florestais e com maior cobertura do solo. Quanto às morfoespécies de Coleoptera indicadoras dos SUS em Santa Catarina, pertencem em grande maioria à família Staphylinidae, Carabidae e Scarabaeidae. A diversidade funcional dos coleópteros do solo foi mantida ao longo da paisagem, assim como a

diversidade de morfoespécies, mesmo com as mudanças dos SUS. Concluiu-se que a distribuição dos coleópteros do solo variou ao longo das quatro regiões estudadas de Santa Catarina. Ficou evidente a importância dos fragmentos de florestas nativas nas paisagens agrícolas e da manutenção de cobertura vegetal e liteira na superfície dos solos para a comunidade dos coleópteros.

**Palavras-chave:** Bioindicadores. Ecologia do solo. Fragmentação da paisagem. Besouros. Comunidades edáficas.

## ABSTRACT

The aim of the study was to evaluate the biogeographic distribution of edaphic Coleoptera communities, also the relationship of the soil fauna communities with the explanatory environmental variables, the fragmentation of the landscape and the land uses in Santa Catarina, Brazil. The research was divided into two stages. The first stage was carried out along a geographical gradient (regional scale), involving four regions (West, Plateau, East and South) and five land-use systems (LUS) (no-tillage, crop-livestock integration, pasture, eucalyptus reforestation and native forest) in three municipalities by region. Where soil coleopterans were collected in a sampling grid with nine points, 30 m apart, in winter and summer. In the second stage (landscape scale), soil fauna assessments were used in three municipalities in the West region (Chapecó, Pinhalzinho and São Miguel do Oeste). In each of the landscapes, a sample grid was established inside a window with 1 km of diameter and collection points approximately 167 m apart from each other. Invertebrate collection methods involved excavating soil monoliths, pitfall traps and cores. Soil physical, chemical and microbiological properties were also evaluated and considered as explanatory environmental variables in statistical analysis. The results found for the regional scale, were that the East and South regions are similar to each other, related to the Coleoptera morphospecies community, as well as Plateau and West. The soil properties pH, Ca / Mg, Mg, total organic carbon, sand, moisture, macropores, bulk soil density, microbial carbon and microbial respiration, have a significant relationship with the distribution of the coleopterans, but this contribution was dependent on the management, class of soil and space variables. Coleoptera with different life forms traits showed dissimilarities between LUS, the pasture showed the greatest functional diversity in relation to the epigeal, hemi-edaphic and edaphic life forms. The results for the landscape scale demonstrated dissimilarities of the soil fauna community between the LUS fragments. The environmental variables of land use, macropores, nitrogen in the soil, aeration space, perimeter of fragments and litter dry weight contributed to explain the composition of soil coleopterans in the studied landscapes. The abundance and body size of the Coleoptera vary depending on the LUS and the vegetation cover, showing an increase in samples with forest systems and with greater soil coverage. The morphospecies of Coleoptera that indicate LUS in Santa Catarina, they mostly belong to the family Staphylinidae, Carabidae and Scarabaeidae. The functional diversity of the soil coleopterans was maintained throughout the landscape, as well as the diversity of morpho-species, even with the changes in the LUS. It was concluded that the distribution of the soil coleopteran varies across the four studied regions of Santa Catarina. It has become evident the

importance of fragments of native forests in agricultural landscapes and the maintenance of vegetal cover and litter on the soil surface for the coleopteran community.

**Keywords:** Bioindicators. Soil ecology. Landscape fragmentation. Beetles. Edaphic communities.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### CAPÍTULO 1

- Figura 1 - Regiões e municípios do Santa Catarina envolvidos no estudo. .... 56
- Figura 2 - Riqueza e abundância de morfoespécies de Coleoptera em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no inverno em quatro regiões do Estado de Santa Catarina..... 62
- Figura 3 - Riqueza e abundância de morfoespécies de Coleoptera em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no verão em quatro regiões do Estado de Santa Catarina. .... 63
- Figura 4 - Análise de coordenadas principais (PCoA) utilizando o coeficiente de Bray-Curtis, com base na abundância das morfoespécies de Coleoptera, no inverno (a) e verão (b), por região e em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD) avaliados em Santa Catarina..... 67
- Figura 5 - Relação entre a distância espacial e a dissimilaridade de morfoespécies de Coleoptera, no inverno e verão, independente do uso do solo, em Santa Catarina. 70
- Figura 6 - Representação das frações (%) da partição das variâncias da *dbRDA* que explicam a variação na matriz de dados da comunidade de Coleoptera no inverno..... 72
- Figura 7 - Representação das frações (%) da partição das variâncias do *dbRDA* que explicam a variação na matriz de dados da comunidade de Coleoptera no verão. .... 74
- Figura 8 - Análise de Redundância baseada na distância (*dbRDA*) da comunidade de Coleoptera e as variáveis ambientais explicativas (atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo) no inverno, no Estado de Santa Catarina. .... 76
- Figura 9 - Análise de Redundância baseada na distância (*dbRDA*) da comunidade de Coleoptera e as variáveis ambientais explicativas (atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo) no verão, no Estado de Santa Catarina. .... 77

### CAPÍTULO 2

- Figura 10 - Análise de coordenadas principais (PCoA) da dissimilaridade de morfotipos eco-morfológicos de Coleoptera, no inverno (a) e verão (b), em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), avaliados em Santa Catarina..... 99
- Figura 11 - Índice de Qualidade Biológica do Solo (QBS) dos coleópteros em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no inverno em Santa Catarina. .... 105
- Figura 12 - Índice de Qualidade Biológica do Solo (QBS) dos coleópteros em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no verão em Santa Catarina..... 106
- Figura 13 - Média ponderada da comunidade (mT) em relação aos *traits* de coleópteros baseada no índice eco-morfológico em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), em Santa Catarina no inverno (a) e verão (b)..... 108
- Figura 14 - Modelos lineares para cada Região (Oeste, Planalto, Sul e Leste) e a predição do modelo linear de efeito misto (LMM) para a Região média, em relação a variação dos coleópteros epígeos (mT Epígeos) de acordo com o aumento da intensificação do uso do solo, em Santa Catarina no inverno e verão..... 110

Figura 15 - Diversidade funcional (FD) de adaptação a vida no solo e diversidade de espécies de Simpson dos coleópteros amostrados em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD). de Santa Catarina, no inverno (a) e verão (b)..... 111

### CAPÍTULO 3

Figura 16 - Mapa mostrando os municípios de Chapecó, Pinhalzinho e São Miguel do Oeste, na região Oeste de Santa Catarina..... 121

Figura 17 - Esquema da grade de amostragem utilizada para as coletas nas paisagens do Oeste de Santa Catarina. .... 124

Figura 18 – Média e erro padrão da abundância ( $\log x+1$ ) (a) e riqueza (b) da fauna edáfica em floresta nativa (FN), pastagem (PA), plantio de eucalipto (PE), plantio direto (PD), integração lavoura-pecuária (ILP) e capoeira (CP), amostrados nas paisagens do Oeste de Santa Catarina, amostrados na primeira (coleta1) e segunda (coleta 2) coletas..... 129

Figura 19 - Ocorrência de grupos taxonômicos da fauna do solo em capoeira (CP); floresta nativa (FN), integração lavoura-pecuária (ILP), pastagem (PA), plantio de eucalipto (PE) e plantio direto (PD), amostrados nas paisagens do Oeste de Santa Catarina, na primeira (a) e segunda (b) coletas. .... 131

Figura 20 - Análise de coordenadas principais da dissimilaridade da fauna edáfica com base no coeficiente de Bray-Curtis, em capoeira (CP), floresta nativa (FN), integração lavoura-pecuária (ILP), pastagem (PA), plantio direto (PD) e plantio de eucalipto (PE), das paisagens do Oeste de Santa Catarina, na primeira (a) e segunda (b) coletas. .... 133

Figura 21 – Fração da variação explicada ajustada das variáveis ambientais e espaciais na comunidade da fauna do solo pela partição da variância da PCNM, utilizando as janelas da paisagem como covariáveis, na primeira (a) e segunda (b) coletas. .... 137

Figura 22 - Diagrama da variação na composição de táxons da fauna do solo explicada por variáveis ambientais após contabilizar os efeitos espaciais na partição da variância da PCNM, utilizando as janelas das paisagens do Oeste de Santa Catarina como covariáveis, na primeira coleta..... 139

Figura 23 - Diagrama da variação na composição de táxons da fauna do solo explicada por variáveis ambientais após contabilizar os efeitos espaciais na partição da variância da PCNM, utilizando as janelas das paisagens do Oeste de Santa Catarina como covariáveis, na segunda coleta. .... 140

### CAPÍTULO 4

Figura 24 - Morfoespécie de Coleoptera indicadoras (IndVal) de floresta nativa em paisagens do Oeste de Santa Catarina. .... 156

Figura 25 – Abundância média de coleópteros do solo amostrados em floresta nativa (FN), pastagem (PA), plantio de eucalipto (PE), plantio direto (PD), integração lavoura-pecuária (ILP) e capoeira (CP), na primeira (a) e segunda (b) coletas, das paisagens do Oeste de Santa Catarina. .... 158

Figura 26 - Predição do melhor modelo de efeito misto generalizado (GLMM) em relação aos parâmetros fixos (Paisagem média) e as predições para cada paisagem separadamente, da variação da abundância de Coleoptera em relação a cobertura do solo (VegCover)..... 160

Figura 27 - Fração da variação explicada ajustada das variáveis ambientais e espaciais na comunidade da morfoespécies de Coleoptera pela partição da variância da PCNM, utilizando as janelas da paisagem como covariáveis, na primeira (a) e segunda (b) coletas. ....	164
Figura 28 - Diagrama da variação na composição de morfoespécies de Coleoptera explicada por variáveis ambientais após contabilizar os efeitos espaciais na partição da variância da PCNM, utilizando as janelas das paisagens do Oeste de Santa Catarina como covariáveis, na primeira coleta. ....	165
Figura 29 - Diagrama da variação na composição de morfoespécies de Coleoptera explicada por variáveis ambientais após contabilizar os efeitos espaciais na partição da variância da PCNM, utilizando as janelas das paisagens do Oeste de Santa Catarina como covariáveis, na segunda coleta. ....	167

## CAPÍTULO 5

Figura 30 - Análise de componentes principais da variação dos <i>traits</i> de coleópteros do solo, utilizando os sistemas floresta nativa (FN), plantio de eucalipto (PE), pastagem (PA); integração lavoura-pecuária (ILP), plantio direto (PD) e capoeira (CP) para interpretação dos resultados e as paisagens como covariável, na primeira coleta do Oeste de Santa Catarina. ....	182
Figura 31 - Análise de componentes principais da variação dos <i>traits</i> de coleópteros do solo, utilizando os sistemas floresta nativa (FN), plantio de eucalipto (PE), pastagem (PA); integração lavoura-pecuária (ILP), plantio direto (PD) e capoeira (CP) para interpretação dos resultados e as paisagens como covariável, na segunda coleta do Oeste de Santa Catarina. ....	183
Figura 32 – Média $\pm$ Erro padrão da diversidade de espécies de Simpson e diversidade funcional (FD) dos coleópteros amostrados na primeira (a) e segunda (b) coletas em floresta nativa (FN), pastagem (PA), plantio de eucalipto (PE), plantio direto (PD), integração lavoura-pecuária (ILP) e capoeira (CP), das paisagens do Oeste de Santa Catarina. ....	188

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Figura 33 - Modelo conceitual para as alterações observadas nas comunidades eco-morfológicas e de morfoespécies de coleópteros do solo em escala regional e da paisagem Santa Catarina. ....	195
--	-----



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Traits morfológicos analisados na morfotipagem dos coleópteros e alguns dos seus significados funcionais. ....	40
---	----

### CAPÍTULO 1

Tabela 2 - Média $\pm$ desvio padrão dos índices de Simpson, Shannon, Margalef e Pielou das morfoespécies de Coleoptera no inverno em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) em quatro regiões do Estado de Santa Catarina. ....	65
Tabela 3 - Média $\pm$ desvio padrão dos índices de Simpson, Shannon, Margalef e Pielou das morfoespécies de Coleoptera no verão em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) em quatro regiões do Estado de Santa Catarina. ....	66
Tabela 4 - Comparações aos pares entre regiões da PERMANOVA da comunidade de Coleoptera, no inverno e verão com base no coeficiente de Bray-Curtis para os dados de abundância transformados. ....	68
Tabela 5 - Espécies indicadoras dos sistemas floresta nativa (FN), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD) em Santa Catarina, no inverno, de acordo com a análise IndVal ( $p \leq 0,05$ ). ....	79
Tabela 6 - Espécies indicadoras dos sistemas floresta Nativa (FN), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), em Santa Catarina, no verão, de acordo com a análise IndVal ( $p \leq 0,05$ ). ....	80

### CAPÍTULO 2

Tabela 7 - Característica e pontuação utilizadas no cálculo do valor EMI ( <i>eco-morphological index</i> ) para a distinção de diferentes morfotipos de Coleoptera. ....	94
Tabela 8 - Padrão de classificação para as categorias de características morfológicos de Coleoptera. ....	94
Tabela 9 - PERMANOVA da comunidade de morfotipos de Coleoptera com base no coeficiente de Bray-Curtis para os dados de abundância transformados, para sistemas de uso do solo (SUS) como fatores fixos e Regiões como <i>random</i> , no inverno. ....	100
Tabela 10 - Comparações aos pares entre sistemas de uso do solo (SUS) da PERMANOVA da comunidade de morfotipos de Coleoptera, no inverno e verão com base no coeficiente de Bray-Curtis para os dados de abundância transformados. ....	101
Tabela 11 - Morfotipos indicadores dos sistemas de uso do solo (SUS) em Santa Catarina, de acordo com a análise IndVal ( $p \leq 0,05$ ). ....	102
Tabela 12 - Correlação de Sperman entre os atributos do solo e os grupos eco-morfológicos edáfico (Ed), hemiedáfico (H), epígeo (Ep) e morfotipos indicadores, no inverno em Santa Catarina. ....	103
Tabela 13 - Correlação de Sperman entre os atributos do solo e os grupos eco-morfológicos edáfico (Ed), hemiedáfico (H), epígeo (Ep) e morfotipos indicadores, no verão em Santa Catarina. ....	104
Tabela 14 - Efeitos fixos do modelo linear misto (LMM) considerando a fórmula (mT Epígeo ~ intensificação de uso do solo), utilizando as regiões de Santa Catarina como efeito aleatório. ....	109

### CAPÍTULO 3

Tabela 15 - Histórico dos sistemas de uso do solo (SUS) avaliados nas janelas das paisagens de Chapecó, Pinhalzinho e São Miguel do Oeste, em Santa Catarina.....	123
Tabela 16 - PERMANOVA da comunidade de fauna do solo com base no coeficiente de Bray-Curtis, para sistemas de uso do solo (SUS) como fatores fixos e Janelas da Paisagem como aleatórios, do Oeste de Santa Catarina na primeira e segunda coleta. ....	134
Tabela 17 - Comparações aos pares entre sistemas de uso do solo (SUS) da PERMANOVA da comunidade da fauna do solo, nas duas coletas realizadas nas paisagens do Oeste de Santa Catarina. ....	135

### CAPÍTULO 4

Tabela 18 - Morfoespécies de Coleoptera de maior ocorrência (%) nas paisagens do Oeste de Santa Catarina, na primeira e segunda coletas. ....	154
Tabela 19 – Valores médios dos índices de Simpson, Shannon, Margalef e Pielou das morfoespécies de Coleoptera nos sistemas de uso do solo (SUS), capoeira (CP), floresta nativa (FN), integração lavoura-pecuária (ILP), pastagem (PA), plantio direto (PD) e plantio de eucalipto (PE), das paisagens do Oeste de Santa Catarina. ....	154
Tabela 20 - Classificação do melhor modelo de efeitos mistos para explicar a abundância de morfoespécies de Coleoptera, baseada nos valores do Critério de informações de Akaike Corrigido (AICc) e respectivos pesos do modelo, com efeitos fixos de SUS, VegCover e efeito aleatório das Janelas da Paisagem. ....	159
Tabela 21 - Resumo dos resultados dos efeitos fixos dos Modelos Mistos Generalizados (GLMM) para o Modelo 1, melhor modelo. ....	159
Tabela 22 - PERMANOVA da comunidade de morfoespécies de Coleoptera da primeira e segunda coletas, com base no coeficiente de Bray-Curtis, para sistemas de uso do solo (SUS) como fatores fixos e as Janelas das paisagens como aleatórios. ....	161
Tabela 23 - Comparações aos pares entre sistemas de uso do solo (SUS) da PERMANOVA da comunidade de Coleoptera, na primeira e segunda coletas com base no coeficiente de Bray-Curtis para os dados de abundância transformados. ....	162

### CAPÍTULO 5

Tabela 24 - Classificação do melhor modelo de efeitos mistos para explicar o <i>trait</i> comprimento do corpo de Coleoptera, baseada nos valores do Critério de informações de Akaike Corrigido (AICc) e respectivos pesos do modelo, com efeitos fixos de sistema de uso do solo (SUS), VegCover, PS-lit e efeito aleatório das janelas das paisagens .....	185
Tabela 25 - Resumo dos resultados dos efeitos fixos dos Modelos Mistos Lineares (LMM) para o Modelo 1 [sistemas de uso do solo (SUS)] e o Modelo 4 [SUS + cobertura vegetal (VegCover) + peso seco liteira (PS-lit)]. ....	186

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AICc	Critério de Informações de Akaike Corrigido
Al	Alumínio
APP	Área de Preservação Permanente
Bio	Bioporos
Ca	Cálcio
CCA	<i>Canonical Correspondence Analysis</i> (análise de correspondência canônica)
CHS	Condutividade Hidráulica Saturada
C-Lit	Carbono da Liteira
CMic	Carbono da Biomassa Microbiana
COP	Carbono orgânico Particulado
COT	Carbono Orgânico Total
CP	Capoeira
C-Solo	Carbono Total do Solo
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
dbRDA	<i>distance-based Redundancy Analysis</i> (análise de redundância baseada na distância)
DMP	Diâmetro Médio Ponderado de Agregados
DNA	<i>Deoxyribonucleic Acid</i> (ácido desoxirribonucleico)
Ds	Densidade do Solo
Ea	Espaço de Aeração
Ed	Edáfico
EMI	<i>Eco-morphological Index</i> (índice eco-morfológico)
Ep	Epígeo
FD	<i>Functional Diversity</i> (diversidade funcional)
FDR	<i>False Discovery Rate</i> (taxa de descoberta falsa)
FN	Floresta Nativa
FOD	Floresta Ombrófila Densa
GLMM	<i>Generalized Linear Mixed Models</i> (modelos lineares mistos generalizados)
H	Hemiedáfico

ILP	Integração Lavoura-Pecuária
K	Potássio
LMM	<i>Linear Mixed Models</i> (modelos lineares mistos)
Macro	Macroporos
Mg	Magnésio
Micro	Microporos
MO	Matéria orgânica
mT	<i>Trait Community Weighted Mean</i> (média ponderada do traço da comunidade)
N-Lit	Nitrogênio da Liteira
N-Solo	Nitrogênio Total do Solo
P	Fósforo
PA	Pastagem
PCNM	<i>Principal coordinates of neighbour matrices</i> (coordenadas principais das matrizes vizinhas)
PCoA	Análise de Coordenadas Principais
PD	Plantio Direto
PE	Plantio de Eucalipto
PERMANOVA	<i>Permutational multivariate analysis of variance</i> (análise multivariada permutacional de variância)
pH	Potencial hidrogeniônico
PS-Lit	Peso Seco da Liteira
PT	Porosidade Total
QBS	Qualidade Biológica do solo
RDA	<i>Redundancy Analysis</i> (análise de redundância)
RE	Reflorestamento de Eucalipto
RL	Reserva Legal
RMic	Respiração Basal Microbiana
RPen	Resistência a Penetração
SD	<i>Standard Deviation</i> (desvio padrão)
SIMPER	<i>Similarity Percentage</i> (análise de porcentagem de similaridade)
SisBIOTA	Sistema Nacional de Pesquisa em Biodiversidade
SUS	Sistemas de Uso do Solo

TSBF	<i>Tropical Soil Biology and Fertility</i> (biologia e fertilidade de solo tropical)
Umi-H	Umidade pelo Hidrofarm
Umi-V	Umidade volumétrica
VegCover	<i>Vegetal Cover Index</i> (índice de cobertura vegetal)



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>25</b>
<b>2 HIPÓTESES</b> .....	<b>29</b>
2.1 ESCALA REGIONAL (CAPÍTULOS 1 E 2) .....	29
2.2 ESCALA DA PAISAGEM (CAPÍTULOS 3, 4 E 5) .....	29
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	<b>31</b>
3.1 GERAL .....	31
3.2 ESPECÍFICOS .....	31
<b>4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>33</b>
4.1 ALTERAÇÕES AMBIENTAIS E O SOLO .....	33
4.2 COLEÓPTEROS COMO INDICADORES DA QUALIDADE DO AMBIENTE .....	34
4.3 FORMAS ALTERNATIVAS PARA AVALIAR O GRUPO COLEOPTERA .....	36
4.4 ABORDAGEM ECO-MORFOLÓGICA .....	39
4.5 BIOGEOGRAFIA E ESCALAS DE AVALIAÇÃO .....	41
REFERÊNCIAS .....	43
<b>5 CAPÍTULO 1: BIOGEOGRAFIA DE COLEÓPTEROS (INSECTA: COLEOPTERA) DO SOLO EM SANTA CATARINA</b> .....	<b>53</b>
5.1 INTRODUÇÃO .....	53
5.2 MATERIAIS E MÉTODOS .....	55
5.2.1 Locais de estudo .....	55
5.2.2 Amostragem dos coleópteros do solo .....	56
5.2.3 Identificação dos coleópteros do solo .....	57
5.2.4 Atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo .....	58
5.2.5 Análises dos dados .....	59
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	61
5.3.1 Inventário, abundância, riqueza e índices de diversidade de morfoespécies de coleópteros do solo .....	62
5.3.2 Distribuição biogeográfica e dependência espacial das morfoespécies de Coleoptera .....	66
5.3.3 Relação da comunidade de Coleoptera com as variáveis ambientais .....	71
5.3.4 Coleópteros indicadores dos usos do solo em Santa Catarina .....	78
5.4 CONCLUSÃO .....	81
REFERÊNCIAS .....	81
<b>6 CAPÍTULO 2: LIFE FORM TRAITS DE COLEÓPTEROS DO SOLO EM SISTEMAS AGRÍCOLAS E FLORESTAIS DE SANTA CATARINA</b> .....	<b>89</b>
6.1 INTRODUÇÃO .....	89
6.2 MATERIAIS E MÉTODOS .....	91
6.2.1 Locais de estudo .....	91

6.2.2 Amostragem dos coleópteros e do solo.....	92
6.2.3 Identificação dos morfotipos de coleópteros do solo: Abordagem de características eco-morfológicas de adaptação a vida no solo.....	93
6.2.4 Análise dos dados.....	95
<b>6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>97</b>
6.3.1 Dissimilaridade eco-morfológica dos coleópteros entre os usos do solo.....	98
6.3.2 Morfotipos indicadores dos usos do solo e sua relação com os atributos do solo	101
6.3.3 Relação dos grupos eco-morfológicos com os atributos do solo .....	103
6.3.4 Índices de qualidade biológica do solo (QBS), média ponderada da comunidade (mT) e diversidade funcional (FD).....	105
<b>6.4 CONCLUSÃO .....</b>	<b>112</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>113</b>
<b>7 CAPÍTULO 3: FAUNA EDÁFICA EM PAISAGENS DO OESTE DE SANTA CATARINA .....</b>	<b>119</b>
7.1 INTRODUÇÃO .....	119
7.2 MATERIAIS E MÉTODOS .....	121
7.2.1 Locais de estudo e amostragem .....	121
7.2.2 Amostragem e identificação da fauna edáfica .....	124
7.2.3 Amostragem e análises do solo e serapilheira .....	125
7.2.4 Análise dos dados.....	126
<b>7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>128</b>
7.3.1 Abundância, riqueza e ocorrência de táxons da fauna do solo em paisagens agrícolas .....	128
7.3.2 Dissimilaridade das comunidades de fauna do solo entre os usos do solo .....	132
7.3.3 Influência das variáveis espaciais e ambientais na composição da fauna do solo	136
7.3.4 Relação das variáveis ambientais com a composição da fauna do solo.....	138
<b>7.4 CONCLUSÃO .....</b>	<b>141</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>142</b>
<b>8 CAPÍTULO 4: INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DA PAISAGEM E ATRIBUTOS DO SOLO NA DISTRIBUIÇÃO DAS MORFOESPÉCIES DE COLEÓPTEROS NO OESTE CATARINENSE .....</b>	<b>145</b>
8.1 INTRODUÇÃO .....	145
8.2 MATERIAIS E MÉTODOS .....	147
8.2.1 Locais de estudo e amostragem .....	147
8.2.2 Amostragem e identificação dos coleópteros do solo.....	148
8.2.3 Amostragem e análises do solo e serapilheira .....	149
8.2.4 Análise dos dados.....	151
<b>8.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>153</b>

8.3.1 Inventário dos coleópteros do solo e morfoespécies indicadoras em paisagens do Oeste Catarinense .....	153
8.3.2 Variação da abundância de coleópteros decorrente do uso do solo e cobertura vegetal .....	157
8.3.3 Relação das comunidades de morfoespécies de Coleoptera com os usos do solo	161
8.3.4 Influência das variáveis espaciais e ambientais na composição da comunidade de coleópteros.....	163
8.3.5 Relação das variáveis ambientais com as morfoespécies de Coleoptera.....	164
8.4 CONCLUSÃO.....	168
REFERÊNCIAS .....	169
<b>9 CAPÍTULO 5: AS PAISAGENS AGRÍCOLAS DO BIOMA MATA ATLÂNTICA DETERMINAM OS TRAITS ECO-MORFOLÓGICOS DOS COLEÓPTEROS DO SOLO? .....</b>	<b>175</b>
9.1 INTRODUÇÃO.....	175
9.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	177
9.2.1 Locais de estudo e amostragem .....	177
9.2.2 Amostragem da Liteira .....	178
9.2.3 Amostragem, identificação e medição dos <i>traits</i> dos coleópteros do solo .....	178
9.2.4 Análises dos dados .....	179
9.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	181
9.3.1 Composição dos <i>traits</i> dos coleópteros do solo .....	181
9.3.2 Variação do tamanho do corpo dos coleópteros do solo nos sistemas de uso do solo .....	184
9.3.3 Diversidade Funcional dos coleópteros do solo .....	187
9.4 CONCLUSÃO.....	189
REFERÊNCIAS .....	189
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>193</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>197</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>225</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A fauna invertebrada do solo desempenha importante papel no funcionamento dos ecossistemas, atuando de forma direta ou indireta na formação do solo, decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, controle populacional de diversos organismos, estruturação do solo e contribuição para a manutenção da vida em profundidade no solo e acima dele. Dentre os grupos de animais que vivem no solo e na interface solo-serapilheira, destaca-se a ordem Coleoptera (Insecta), que juntamente com outros organismos, atua na fragmentação e transporte do material orgânico, alterações na agregação do solo e porosidade. Além disso, ocupam diferentes níveis tróficos, com membros que se alimentam de fungos, material em decomposição, plantas ou outros invertebrados.

A maioria dos estudos dos indivíduos adultos desse grupo chave são baseados em abordagens taxonômicas e consideram apenas a diversidade de espécies, sem avaliar a diversidade funcional. Isso, no entanto, pode restringir os estudos da comunidade, especialmente quando se comparam regiões com diferentes espécies (FOUNTAIN-JONES; BAKER; JORDAN, 2015), também pode dificultar a avaliação em larga escala. Dessa maneira, é fundamental, encontrar características que sejam comparáveis para extensa gama de organismos e ambientes, ainda mais considerando estudos desenvolvidos em grandes extensões espaciais e a dificuldade de conseguir taxonomistas para a identificação de grande número de amostras.

Separar os coleópteros edáficos, por meio da sua eco-morfologia, e caracterizá-los em termos de formas de vida, preferência de habitat e/ou serviços prestados ao meio ambiente, pode ajudar a compreender o funcionamento dos ecossistemas (POMPEO, 2016). Além disso, os espécimes também podem ser separados em morfoespécies quando não é possível chegar em espécies taxonômicas, metodologia que já demonstrou resultados positivos para levantamentos de diversidade e monitoramento ambiental (OLIVER; BEATTIE, 1996; NG et al., 2018).

Nesse sentido, muitos estudos têm mostrado o efeito das atividades humanas nos ecossistemas, principalmente do manejo em áreas de produção agrícola, pecuária e florestal ou na fragmentação e intervenção de ambientes naturais, relacionando-as com as mudanças nas comunidades do solo que ali habitam (PORTILHO et al., 2011; FARIAS; HERNÁNDEZ, 2017; ZHANG et al., 2020). Não considerando na maioria das vezes, que essa resposta possa depender em certa magnitude do contexto histórico regional, ou seja, a história evolutiva e a biogeografia dos membros que compõem essas comunidades (BARRAGÁN et al., 2014). Saiba-se que estudos da biota do solo que abordam tanto escalas mais amplas quanto a escala da

paisagem carregam informações úteis para o planejamento e a adoção de manejos adequados nas áreas rurais (DAUDER et al., 2005; NICHOLS et al., 2013).

A biogeografia é o estudo da distribuição da biodiversidade sobre o espaço e o tempo e tem como objetivo verificar onde os organismos vivem, qual a abundância e suas relações. Contribui para a compreensão dos mecanismos que geram e mantem a diversidade, como especiação, extinção, dispersão e interações entre espécies (MARTINY et al., 2006). Mas pelo fato de a biogeografia de coleópteros e a sua relação com a composição da paisagem em Santa Catarina serem áreas do conhecimento recentemente exploradas, esses estudos ainda são escassos na ciência do solo, a nível do Estado (CAMPOS; HERNANDÉZ, 2015; NIERO; HERNANDÉZ, 2017). No Brasil, a maioria dos estudos realizados, não avaliam a relação desses invertebrados com os atributos do solo, pois são mais voltados para a zoologia de um grupo específico e/ou a relação com fenômenos que ocorrem acima do solo (FRANÇA et al., 2016).

Escala espaciais mais amplas, como a escala regional, podem demonstrar diferenças na distribuição dos coleópteros decorrentes de diferenças latitudinais e longitudinais, onde fatores como clima, distância espacial, altitude e diferenciação de nicho, podem influenciar na dissimilaridade de forma conjunta ou isolada (GÓMEZ-RODRÍGUEZ; FREIJEIRO; BASELGA, 2015). Em escalas da paisagem, fatores como o uso da terra, atributos edáficos, competição, disponibilidade de alimento, fluxo de dispersão com as áreas adjacentes, habitat, cobertura do solo, microclima, apresentam relevante papel na manutenção da biodiversidade do solo (DAUBER et al., 2005; MARICHAL et al., 2014). A escala da paisagem pode ser definida como uma área espacialmente heterogênea em pelo menos um fator de interesse. Do ponto de vista humano pode ser interpretada como um mosaico com quilômetros ou metros de extensão sobre o qual os ecossistemas locais se repetem (FORMAN 1995; TURNER; GARDNER 2015).

Trabalhos importantes sobre a biodiversidade dos coleópteros e/ou de outros componentes da fauna edáfica no contexto biogeográfico vêm sendo realizados (BARRAGÁN et al., 2014; GÓMEZ-RODRÍGUEZ; FREIJEIRO; BASELGA, 2015; DAVIS; SCHOLTZ, 2020) e outros levando em conta o aspecto da paisagem (DAUBER et al., 2005; MARICHAL et al., 2014; GIBB et al., 2017; LASCALEIA et al., 2018; ARENAS-CLAVIJO; ARMBRECHT, 2019), no Brasil (CAJAÍBA et al., 2017; CIVIDANES et al., 2018; SILVA et al., 2018) e em Santa Catarina (NIERO; HERNANDEZ; 2017). Porém, nenhum estudo no Brasil avaliou os padrões da biodiversidade de grupos de Coleoptera do solo considerando diferentes escalas espaciais de amostragem, mais ampla (envolvendo quatro diferentes regiões do Estado de Santa Catarina e usos do solo) e escala da paisagem. Também, utilizando

metodologia de identificação e separação dos coleópteros por meio da avaliação de características eco-morfológicas, os relacionando com outros atributos edáficos. Sendo, estes aspectos o enfoque do trabalho que será desenvolvido.

Sabe-se que não apenas aspectos ligados aos sistemas agrícolas podem influenciar as comunidades edáficas, mas condições de micro-habitat inseridas nas áreas agrícolas, os remanescentes florestais, e o contexto da paisagem ao redor dessas áreas exercem influência sobre a manutenção da biodiversidade e funcionalidade dos agroecossistemas (DIEKÖTTER et al., 2010). Muitos estudos já demonstraram a importância dos coleópteros para avaliar as condições ambientais, pois sua alteração estrutural ou até mesmo mudanças em algumas características morfológicas específicas podem indicar perturbação no ambiente e preferência de habitat (VANDEWALLE et al., 2010; LAPARIE et al., 2010; GERISCH, 2011; LIU et al., 2012; MICKAËL et al., 2015; GIBB et al., 2017), alguns no Brasil (FRANÇA et al., 2016; CAJAIBA et al., 2017; BERNARDES et al., 2020) e poucos em Santa Catarina (FARIAS; HERNÁNDEZ, 2017; POMPEO et al., 2017).

Pelas razões supracitadas e por responderem as mudanças no ambiente onde vivem, os coleópteros são utilizados amplamente nas análises científicas. Estudar esse grupo de engenheiros do ecossistema, considerando o cenário biogeográfico e da fragmentação da paisagem, assim como outros membros da biota do solo, pode ser promissor para a ciência do solo. Além disso, avaliar padrões de comportamento, distribuição, características eco-morfológicas ligadas aos processos e funções no ecossistema, podem auxiliar na indicação de alterações provocadas a partir dos mosaicos formados pela fragmentação da paisagem.

As características da biodiversidade e funcionalidade dos ecossistemas, geralmente são dependentes da configuração e das características da paisagem e não apenas dentro das áreas agrícolas e/ou remanescentes florestais. Assim como, os padrões de distribuição dos coleópteros podem ser distintos entre regiões do Estado. Entender esses fatores em diferentes escalas de avaliação, como propõe a presente Tese, pode contribuir para o planejamento e a adoção de práticas de manejo agrícolas considerando aspectos da paisagem e regionais em Santa Catarina, não apenas em escala fina e restrita.

A primeira parte deste estudo faz parte do projeto SisBIOTA - Sistema Nacional de Pesquisa em Biodiversidade, que busca estudar a biodiversidade de organismos edáficos e outros atributos, em diferentes sistemas de uso do solo no Estado de Santa Catarina. Pompeo (2016) realizou a identificação de famílias e a caracterização morfológica dos coleópteros apenas na região do Planalto Sul Catarinense, utilizando a metodologia adaptada de Parisi et al. (2005), analisando a relação desse grupo com atributos físicos, químicos e microbiológicos do

solo. Em vista disso, buscou-se dar prosseguimento para as avaliações em outras regiões do Estado, com o intuito de desenvolver um estudo biogeográfico para os coleópteros. A segunda parte do estudo dá continuidade as questões de distribuição e alterações nas comunidades de coleópteros, mas em escala da paisagem, na região Oeste de Santa Catarina.

Sendo assim, objetivou-se avaliar os coleópteros sob uma perspectiva de escala regional nos principais usos do solo adotados em Santa Catarina (plantio direto, integração lavoura-pecuária, pastagem, reflorestamento de eucalipto e floresta nativa), verificando quais fatores ambientais, do solo e/ou espaciais são determinantes para a distribuição desse grupo no Estado Catarinense, compondo os capítulos 1 e 2. Além disso, a segunda parte da tese deu continuidade as questões relacionadas a distribuição e biodiversidade da fauna invertebrada do solo, mas considerando a escala da paisagem, ou seja, a fragmentação presente nas áreas rurais do bioma Mata Atlântica, compondo os capítulos 3 (fauna geral), 4 e 5 (coleópteros).

## 2 HIPÓTESES

### 2.1 ESCALA REGIONAL (CAPÍTULOS 1 E 2)

- i. As distâncias estabelecidas pelo gradiente geográfico regional em Santa Catarina (Oeste, Planalto, Sul e Leste) promovem dissimilaridades nas comunidades de morfoespécies de coleópteros do solo;
- ii. Existe relação entre os atributos edáficos, fatores ambientais, espaciais e as mudanças na distribuição e composição das morfoespécies de coleópteros em Santa Catarina;
- iii. Os coleópteros do solo são sensíveis as mudanças dos usos da terra, demonstrando alterações no padrão de ocorrência nos ecossistemas em escala regional de Santa Catarina.
- iv. A intensificação do uso do solo em Santa Catarina tem influência nas características eco-morfológicas e a diversidade funcional dos coleópteros.

### 2.2 ESCALA DA PAISAGEM (CAPÍTULOS 3, 4 E 5)

- i. As variáveis ambientais explicativas e as variáveis espaciais provocam dissimilaridades das comunidades da fauna invertebrada do solo e morfoespécies de coleópteros, em paisagens do Oeste de Santa Catarina;
- ii. Os fragmentos da paisagem, com usos da terra distintos, provocam variações nas comunidades dos invertebrados edáficos em paisagens do Oeste de Santa Catarina;
- iii. Usos da terra com maior cobertura do solo, apresentam maior abundância de coleópteros e indivíduos com maior tamanho corporal em paisagens do Oeste de Santa Catarina;
- iv. Os fragmentos que compõem as paisagens, com distintos usos e manejos, influenciam na diversidade funcional dos coleópteros do solo, não apenas a diversidade de morfoespécies em paisagens do Oeste de Santa Catarina.
- v. Existem coleópteros indicadores dos usos do solo e *traits* específicos desses organismos ligados as alterações ambientais nas paisagens do Oeste de Santa Catarina.



### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 GERAL

Estudar a distribuição geográfica regional de comunidades de coleópteros edáficos, a influência da fragmentação da paisagem sobre a fauna invertebrada do solo e sua relação com as variáveis ambientais explicativas (químicas, físicas e microbiológicas do solo) e espaciais, nos principais usos do solo em Santa Catarina.

#### 3.2 ESPECÍFICOS

- a) Verificar se as distâncias espaciais estabelecidas entre as regiões Oeste, Planalto, Sul e Leste do Estado de Santa Catarina promovem dissimilaridade nas comunidades de morfoespécies de coleópteros do solo;
- b) Avaliar se existe relação entre as variáveis ambientais explicativas (atributos do solo, práticas de manejo e classe do solo), variáveis espaciais e os padrões de distribuição das comunidades de morfoespécies de coleópteros;
- c) Avaliar a estrutura da comunidade de coleópteros e os efeitos dos sistemas de uso do solo na ocorrência dos grupos eco-morfológicos de coleópteros;
- d) Verificar se a intensificação do uso do solo interfere nas formas de vida (edáfica, hemiedáfica e epígea) e na diversidade funcional dos coleópteros em Santa Catarina;
- e) Analisar as relações das variáveis ambientais (atributos do solo, liteira, cobertura vegetal) e variáveis espaciais com a dissimilaridade das comunidades invertebradas do solo em paisagens do Oeste de Santa Catarina;
- f) Verificar se os fragmentos da paisagem, com usos da terra distintos provocam dissimilaridade nas comunidades dos invertebrados edáficos;
- g) Verificar se usos da terra com maior cobertura do solo apresentam maior abundância de coleópteros em paisagens do Oeste de Santa Catarina;
- h) Verificar se a mudança do uso da terra nas paisagens têm influência na manutenção da diversidade ecológica e funcional dos coleópteros.
- i) Encontrar morfoespécies e morfotipos de coleópteros indicadores dos usos do solo para cada região de Santa Catarina e *traits* ligados a fragmentação da paisagem no Bioma Mata Atlântica.



## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 4.1 ALTERAÇÕES AMBIENTAIS E O SOLO

O aumento na intensidade de exploração dos recursos naturais nas últimas décadas tem gerado problemas que levam ao esgotamento dos ecossistemas. Além disso, as modificações antrópicas de supressão da vegetação e fragmentação de habitats tem levado a grandes perdas da biodiversidade comprometendo a funcionalidade dos sistemas naturais (GARDI et al., 2009, MARTINS et al., 2010; SILVA et al., 2018). Não só as alterações da composição florística, tem efeitos prejudiciais nos processos biológicos e erosivos do solo, mas também o trânsito de máquinas, manejo inadequado do solo e compactação subsuperficial podem causar danos difíceis de reparar (BARETTA et al., 2014).

Os usos da terra dominantes no Brasil envolvem, em grande parte, a conversão de floresta nativa em uma área agrícola e essas mudanças ocorrem rapidamente devido ao crescente desenvolvimento agrícola. A intensificação de utilização dos solos na agricultura e pecuária estão entre os principais causadores do declínio da diversidade de espécies, associada a utilização de pesticidas e fertilizantes, operações de lavoura e o pastejo que promovem a simplificação das paisagens, moldam os padrões de biodiversidade em escala local e regional (FLOHRE et al., 2011, PUECH et al, 2014).

O solo tem papel primordial nos serviços essenciais para a manutenção da vida no planeta, pois contribui na regulação do ciclo hidrológico, filtragem de poluentes, sequestro de carbono, ciclagem de nutrientes, além de sustentar uma grande diversidade biológica. Portanto, para manter a qualidade do solo é necessário adotar práticas de produção e gestão das áreas agrícolas que conservem o bom funcionamento dos ecossistemas. Os sistemas florestais naturais costumam sustentar o equilíbrio dinâmico dos fatores ligados a matéria orgânica, reciclagem de nutrientes, estruturação, infiltração de água e biodiversidade tanto na superfície quanto no interior do solo (BARDGETT; VAN DER PUTTEN, 2014)

O estudo da fauna edáfica e a compreensão de suas relações ecológicas são importantes, tanto para a avaliação da qualidade do solo, quanto para o entendimento da dinâmica dos sistemas de produção (BARETTA et al., 2011; POMPERMAIER et al., 2020). As atividades da fauna invertebrado do solo estão relacionadas aos serviços ecossistêmicos de provisão, suporte, regulação e cultural. A exemplo da construção de galerias, que contribui para o aumento da infiltração e a disponibilidade de água no solo, influenciando no serviço ecossistêmico de “provisão”. O controle de pragas, consumo de partes vivas de plantas,

fragmentação, ingestão, estimulação da comunidade microbiana, bioturbação e transporte de partículas são funções relacionadas ao serviço de “suporte”. A dispersão de sementes, mudanças na estrutura do solo, formação de agregados e consequentemente o sequestro de carbono, estão ligadas a ação da fauna e contribuem para o serviço de “regulação”. Além disso, os organismos podem servir como instrumento para a educação ambiental e fonte de alimento para consumo humano, atuando no serviço ecossistêmico “cultural” (BROWN et al., 2015).

#### 4.2 COLEÓPTEROS COMO INDICADORES DA QUALIDADE DO AMBIENTE

Um componente muito importante dos “engenheiros do ecossistema” é representado pela ordem Coleoptera. Muitas espécies de besouros, como são popularmente conhecidos, são terrestres, podendo ser encontradas sob a serapilheira, em materiais vegetais em decomposição, em carcaças de animais, em plantas vivas, em ninhos de outros animais e em cavernas, algumas também são encontradas nas fezes de diversos animais e desempenham importante papel ecológico na decomposição e na formação do solo (DESUÓ et al., 2010).

As famílias e demais níveis incluídos nessa ordem, são considerados executores de serviços do ecossistema, pois contribuem com a aeração do solo decorrente da sua ação escavatória, transporte e posterior acúmulo de matéria orgânica (Scarabaeidae) (LOUZADA, 2008), contribuem na fertilização do solo devido a atividade rola-bosta (NICHOLS et al., 2008), decomposição de excretas e de resíduos de origem animal e vegetal (YAMADA et al., 2007), (Nitidulidae) (GRACIA et al., 2016), ciclagem de nutrientes (Scarabaeidae) (FARIAS; HERNÁNDEZ, 2017), controle biológico com predação de outros invertebrados pragas (Scarabaeidae) (ALMEIDA; LOUZADA, 2009; TISSIANI; VAZ-DE-MELLO; CAMPELO-JÚNIOR, 2017), (Staphylinidae) (GARLET et al., 2015), (Carabidae) (LEE; ALBAJES, 2016; CIVIDANES et al., 2018).

A adoção de um grupo indicador único das alterações ambientais, seria muito interessante para a elaboração e/ou avaliação das medidas de conservação da biodiversidade dos habitats e mosaicos da paisagem (DAUBER et al., 2005). Um bioindicador é assim caracterizado, por sua capacidade de dar respostas imediatas a mudanças no solo e com isso correlacionar determinado fator antrópico com potencial impactante ou um fator natural, auxiliando os pesquisadores na avaliação ambiental (BARETTA; BROWN; CARDOSO, 2010; CAMPOS; HERNÁNDEZ, 2015) e podendo ser um importante instrumento para o monitoramento, controle e fiscalização dos ambientes (GARDI et al., 2009; CREAMER et al., 2016; HOMBURG et al., 2019).

Os grupos de Coleoptera, incluindo diferentes níveis taxonômicos como famílias, subfamílias e espécies, vem sendo relacionados as alterações nos ecossistemas e estudados como indicadores das condições do solo, a exemplo: indicadores de maior umidade (MILHOMEM; MELLO; DINIZ, 2003); de aumento nas concentrações de K e matéria orgânica do solo (DUNXIAO et al., 1999; WINK et al., 2005; PORTILHO et al., 2011); maiores quantidades de areia e silte (PORTILHO et al., 2011); indicadores de impactos em áreas ripárias (STOCKAN et al., 2014) e baixos níveis de N e Mg (FARIAS et al., 2015); indicadores de fragmentos florestais adjacentes a cultivos convencionais de milho ou adjacentes ao cultivo de milho transgênico (CAMPOS; HERNÁNDEZ, 2015); aumento nas concentrações de P no solo (WINK et al., 2005, POMPEO et al., 2016); ambientes com maior disponibilidades de recursos relacionados as maiores quantidades de matéria orgânica no solo (FARIS; HERNÁNDEZ, 2017); relacionados aos maiores conteúdos de N no solo e liteira (VICIAN et al., 2018).

Além dos grupos taxonômicos, estudos recentes têm avaliado características de besouros, buscando as relacionar com mudanças no ambiente, por exemplo, habitat com paisagem heterogênea (VANDEWALLE et al., 2010); espécies invasoras (LAPARIE et al., 2010); áreas inundadas (GERISCH, 2011); locais com interferência antrópica e áreas cultivadas (LIU et al., 2012); pomares comerciais (MICKAËL et al., 2015); distúrbios provocados pelo manejo em florestas primárias (FRANÇA et al., 2016); paisagens com áreas em recuperação sob diferentes estágios de sucessão (GIBB et al., 2017); estudos de longo prazo em reservas naturais (HOMBURG et al., 2019); diversidade vegetal de florestas em diferentes escalas espaciais (JOUVEAU et al., 2020).

Ademais, a ciência tem avançado nos métodos de avaliação dos distúrbios causados pelo manejo em florestas naturais utilizando grupos chave de coleópteros, como demonstrado por França et al. (2016) que avaliaram na Floresta Amazônica brasileira a utilização da metodologia “*space-for-time*”, adotada na maioria dos levantamentos, que avalia áreas onde a perturbação antrópica já ocorreu, tomando como referência áreas próximas não impactadas e compararam com a metodologia “*before–after control–impact*”. Esses pesquisadores conseguiram estudar os locais antes da intervenção e monitora-los após o evento, que seria o modelo ideal de avaliação da biodiversidade. Neste trabalho, a avaliação dos coleópteros (Scarabaeidae: Scarabaeinae) demonstraram sua importância já consolidada na investigação científica dos impactos humanos a biodiversidade.

Outro estudo que demonstra a importância da resposta das comunidades de besouros a conversão da vegetação nativa em áreas de produção, foi o realizado por Barragán et al. (2014) em diferentes províncias biogeográficas no México, onde concluíram que para manter a

diversidade dos besouros rola-bosta (Scarabaeidae) e os serviços ambientais que eles fornecem, ações de conservação devem levar em conta o contexto histórico e biogeográfico da região. Portanto, a realização de um estudo que avalie grupos chave de coleópteros para os serviços ecossistêmicos em paisagens impressas no domínio da Mata Atlântica, levando em consideração o aspecto biogeográfico, seria de grande valia para o avanço do conhecimento sobre a biodiversidade do solo, junto com outros aspectos de qualidade do ambiente.

Jouveau et al. (2020), em estudo realizado na França, perceberam que florestas mais diversas podem hospedar maior densidade e atividade de carabídeos predadores (Coleoptera: Carabidae), como resultado do efeito combinado da diversidade da vegetação horizontal e vertical, o que pode aumentar a qualidade do habitat e a quantidade de recursos alimentares. Destacando a relevância de identificar os filtros ecológicos que moldam as comunidades de carabídeos locais, utilizando experimentos manipulativos de diversidade de árvores.

#### 4.3 FORMAS ALTERNATIVAS PARA AVALIAR O GRUPO COLEOPTERA

Em geral, os organismos do solo chamam pouca atenção de taxonomistas em comparação com outros grupos que vivem acima do solo, essa questão tem sido muito discutida na literatura científica, abrindo caminho para a utilização de novas metodologias que contribuam para a avaliação da biodiversidade (DECÄENS et al., 2006; DECÄENS et al., 2013; REIS et al., 2016). Um bom exemplo são os coleópteros que estão presentes em grande variedade de habitats e apesar desta diversidade, muitos são difíceis de serem encontrados, devido à maioria das espécies viver sob o solo ou locais crípticos (DESUÓ et al., 2010). Quase dois terços das espécies de coleópteros aguardam descrição formal, sendo assim, os pesquisadores muitas vezes estudam a ecologia de poucas espécies taxonômicas conhecidas (FOUNTAIN-JONES; BAKER; JORDAN, 2015). Portanto, abordagens alternativas que considerem os aspectos funcionais, não apenas a diversidade de espécies, como a avaliação de “*traits*” específicos, ou grupos funcionais, tem grandes possibilidades de ajudar a compreender o papel dos coleópteros nos ecossistemas. Somado a isso, podem contribuir para o entendimento do funcionamento e/ou processos que ocorrem no solo e acima dele, indo além das informações alcançadas quando se utiliza apenas a forma de identificação convencional taxonômica (PEY et al., 2014; NG et al., 2018; SALOMÃO et al., 2018).

Muitos *traits* têm sido avaliados e utilizadas posteriormente para compreender as funções das coleópteros no ambiente, por exemplo tamanho do corpo e coloração (Carabidae) principalmente os relacionando ao aumento ou diminuição da cobertura florestal

(VANDEWALLE et al., 2010); tamanho do corpo ou partes do corpo de espécies invasoras relacionados a restrição alimentar e competição em locais colonizados em diferentes épocas (LAPARIE et al., 2010). Características reprodutivas e tamanho do corpo relacionados com a intensidade de manejo e áreas inundadas (GERISCH, 2011); tamanho do corpo e hábitos alimentares relacionados com locais com interferência antrópica e áreas cultivadas (LIU et al., 2012); pomares comerciais onde as diferenças no manejo selecionaram indivíduos com base em sua morfologia (tamanho, marcha, vôo e nutrição) e suas preferências ecológicas (diversidade de alimentos e habitat) (MICKAËL et al., 2015).

O comprimento do corpo de besouros em geral, foi associado e capacidade de dispersão, o tamanho dos olhos a preferência de habitat e antenas com a capacidade de caça (FOUNTAIN-JONES; BAKER; JORDAN, 2015); mudanças na biomassa do corpo ligadas a distúrbios provocados pelo manejo em florestas primárias (Scarabaeidae) (FRANÇA et al., 2016). O tamanho do corpo de espécies de besouros, também foi utilizada para explicar a variação interespecífica das relações tamanho-latitude, onde espécies de besouros de corpo maior apresentaram relação positiva com a latitude (TSENG; PARI, 2018). Outro estudo demonstrou que a abundância de carabídeos “grandes” foi positivamente correlacionada com áreas de floresta, enquanto a abundância dos carabídeos “pequenos” foi negativamente correlacionado com áreas de gramíneas (ZHANG et al., 2020).

Apesar de alguns autores ao estudarem paisagens com áreas em recuperação sob diferentes estágios de sucessão, não terem encontrado diferenças nos locais ocupados por espécies aladas e sem asas, e nenhuma relação entre as características morfológicas da asa em diferentes locais e características do habitat ou contexto da paisagem, perceberam que besouros sem asas eram geralmente maiores que espécies aladas dentro da mesma família e famílias com menor tamanho corporal, muitas vezes incluíam apenas espécies aladas, assim, eles perceberam que espécies maiores podem compensar sua incapacidade de se dispersar por voo com uma capacidade melhorada de se mover ao nível do solo. (GIBB et al., 2017).

Outros autores avaliaram os grupos funcionais de besouros (Scarabaeidae), com base em seu comportamento em *rollers* (i.e. rolam bolas de comida na superfície do solo), *tunnelers* (i.e. escavam túneis perto ou abaixo do recurso alimentar para transportar a comida no subsolo) e *dwellers* (i.e. não se movem nem armazenam alimentos, mas apenas o consomem no local de descoberta inicial) e também com base em seu tamanho corporal os relacionando ao enterro de esterco e remoção de sementes e verificaram que embora em números absolutos, mais *dwellers* foram encontrados, grandes *tunnelers* foram importantes para o enterro de esterco e remoção de sementes (MILOTIĆ et al., 2017). Em estudo nas florestas da Europa sobre adaptação de

besouros as alterações das condições ambientais (Carabidae), os autores verificaram que o dimorfismo das asas, a reprodução tanto na primavera quanto no outono, e a hibernação tanto em instares larvares quanto em imago coincidiram com o aumento da probabilidade de ocorrência, provavelmente devido à maior flexibilidade dessas espécies para se adaptar às condições ambientais flutuantes (NOLTE et al., 2017). Esses estudos demonstram a importância da abordagem de *traits* para avaliações mais complexas e abrangentes no contexto da conservação da biodiversidade e funcionalidade dos ambientes.

Ainda, quando consideradas abordagens alternativas para a avaliação da biodiversidade de coleópteros do solo, a classificação em morfoespécies é bastante utilizada, principalmente quando pesquisadores chegam a nível de família e/ou gênero mas não conseguem chegar a nível de espécie taxonômica em todos os espécimes estudados, ou quando não se encontram taxonomistas especialistas disponíveis para a identificação, ou ainda quando há um grande número de amostras com recursos e tempo limitados (MARINONI; GANHO, 2003; NG et al., 2017; GIBB et al., 2017; NG et al., 2018). Esse método pode ser realizado por pessoas que possuem treinamento nas características morfológicas do grupo em questão e são capazes de observar diferenças entre indivíduos, mas não são taxonomistas especialistas, podendo ser utilizado principalmente em estudos de monitoramento ambiental e conservação (OLIVER; BEATTIE, 1993; OLIVER; BEATTIE, 1996).

Outra abordagem que vem sendo utilizada é a identificação de espécies utilizando análise molecular, sendo o “ácido desoxirribonucleico (DNA) barcoding” o mais popular atualmente, utilizado para discriminar espécies dentro de diversos grupos da fauna do solo, incluindo coleópteros (DECAËNS et al., 2013; RAUPACH et al., 2018). Essa metodologia utiliza um pequeno fragmento de DNA como marcador genético para identificação de espécies, oferece uma melhor separação entre elas e uma solução para simplificar as identificações, demonstrando o valor dessa abordagem para a discriminação de espécies, identificação de novos táxons, identificação de indivíduos jovens (em muitos casos difíceis de serem identificados por características morfológicas) e levantamentos rápidos da biodiversidade em diferentes escalas espaciais (DECAËNS et al., 2013; OLIVEIRO et al., 2018). Entretanto, essa técnica possui custo elevado para a maioria dos projetos desenvolvidos nas Universidades Brasileiras, pois não são todas as instituições que possuem equipamentos e pesquisadores capazes de realizar as análises ou recursos para enviar amostras para outros lugares.

Nesse contexto, os estudos têm avançado para além das abordagens taxonômicas, indo em direção a técnicas moleculares, grupos funcionais, *traits* de efeito ou reposta e alcançando novas possibilidades para a ecologia do solo (DECAËNS et al., 2013; PEY et al., 2014; LIU et

al., 2019). Assim, a consideração dos coleópteros, utilizando diferentes abordagens, para verificar a qualidade do solo e do ecossistema, junto a outros atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo pode ajudar a demonstrar o funcionamento do solo, seus níveis de equilíbrio ou perturbação (DORAN; PARKIN, 1997; GARDI et al., 2009; FARIAS et al., 2015). Esses atributos medidos, precisam ser propriedades mensuráveis do solo, da biota ou do ambiente acerca de um processo ou atividade e que permitam caracterizar, avaliar e acompanhar as alterações ocorridas num dado ecossistema (LEGAZ et al., 2017).

#### 4.4 ABORDAGEM ECO-MORFOLÓGICA

Um método relevante para o estudo dos microartrópodes do solo foi o proposto por Parisi (2001), onde os organismos são separados de acordo com sua forma biológica ou formas de vida (life forms), por meio da avaliação de traits eco-morfológicos específicos para determinar seu nível de adaptação a vida no solo. Além disso, teve o intuito de avaliar a biodiversidade presente no solo e superar as dificuldades das identificações taxonômicas mais complexas a nível de espécie, realizadas apenas por taxonomistas especialistas (PARISI et al., 2005; MENTA et al., 2018).

Por meio dessa análise, a fauna pode ser separada em três diferentes níveis de adaptação ao solo dependendo das características que apresenta, são eles, os edáficos, que mantêm contato direto com o solo por toda a vida; os hemiedáficos, que correspondem aos intermediários e os epígeos, que vivem na superfície do solo, mais próximos a serapilheira (PARISI et al., 2005). Além disso, essa metodologia é bastante barata, envolve mão de obra com treinamento básico em identificação taxonômica, requer poucos equipamentos, e menos tempo e energia são necessários para a amostragem e análise das amostras (MENTA et al., 2018).

Nesse sentido, para os invertebrados serem separados de acordo com suas formas biológicas, primeiramente eles são identificados em grandes grupos taxonômicos de ordem ou classe e posteriormente é atribuído o valor do índice eco-morfológico (*Eco-morphological Index* – EMI) para cada um desses grupos, que pode variar de 1 (nenhuma adaptação ao solo) a 20 (máxima adaptação ao solo). Muitos destes grupos, possuem morfologia e preferência de habitat específicos, podendo ser caracterizados por um único nível de adaptação ao solo e possuir apenas um valor EMI (por exemplo Protura – EMI = 20 – com máxima adaptação, Isopoda – EMI = 10 – com média adaptação e Thysanoptera – EMI = 1 – sem adaptação ao solo). Enquanto outros que possuem *traits* eco-morfológicos muito variados, em relação a tamanho e forma e que além disso tem representantes habitando diferentes profundidades do

solo, com distintas capacidades de dispersão, os valores de EMI podem ir de 1 até 20, dentro do mesmo grupo taxonômico como é o caso de Coleoptera e Collembola (PARISI et al., 2005).

Outros trabalhos já utilizaram essa metodologia adaptada para o estudo de grupos específicos de invertebrados edáficos, os colêmbolos (OLIVEIRA FILHO et al., 2016; SILVA et al., 2016; REIS et al., 2016; SANTOS et al., 2018) e os coleópteros (POMPEO et al., 2017), demonstrando resultados promissores para sua utilização, pois diferenciam áreas sujeitas a um gradiente de interferência antrópica, com base na diversidade estrutural desses animais e sua relação com as propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo (POMPEO, 2016). No caso dos coleópteros, alguns traits importantes são avaliados, que de acordo com a literatura estão relacionados a capacidade de adaptação ao meio e funções (Tabela 1).

A partir da utilização da metodologia EMI é possível calcular o índice de qualidade biológica do solo (QBS-ar) (PARISI et al., 2005). Esse índice foi introduzido há mais de dez anos atrás, e tem sido aplicado a vários ecossistemas, incluindo terras agrícolas, pastagens, solos urbanos, bosques em diferentes níveis de deserto e solos degradados (MENTA et al., 2018). Muitos estudos usam artrópodes como bioindicadores, geralmente considerando os níveis taxonômicos de espécie ou gênero. Estas abordagens requerem conhecimentos taxonômicos específicos e o QBS pode ajudar a superar parcialmente esses problemas, pois exige conhecimento taxonômico nos níveis de classe e ordem. Somado a isso, é um conhecimento importante para a biodiversidade, pois aborda o nível de adaptação dos artrópodes à vida no solo (MENTA et al., 2018).

Tabela 1 - Traits morfológicos analisados na morfotipagem dos coleópteros e alguns dos seus significados funcionais.

<i>Trait</i>	<b>Significado funcional</b>
Tamanho do corpo	Relacionado a fecundidade, capacidade de forrageamento e dispersão.
Tegumento	Resistência, uso do micro-habitat. Quanto mais rígido maior a resistência a fatores externos.
Asas membranosas	Quando desenvolvidas dão capacidade de vôo e aumenta a dispersão.
Olhos	Ligado a preferência de habitat, diurno ou noturno e a prevenção de predadores. Se o inseto vive em profundidade no solo não necessita ter olhos grandes.

Fonte: Adaptado de Parisi et al. (2005) e Fountain-Jones, Baker e Jordan (2015).

#### 4.5 BIOGEOGRAFIA E ESCALAS DE AVALIAÇÃO

O conhecimento da biogeografia dos invertebrados edáficos é muito importante para estudos ecológicos pois a biodiversidade difere, de acordo com o que se tem conhecimento atualmente, entre diferentes locais globais, continentalmente, regionalmente ou localmente (BRUSSAARD et al., 2012). A biogeografia estuda a distribuição espacial dos seres vivos ao longo do tempo, buscando entender os padrões de organização geográfica dos organismos e os processos que contribuem para a ocorrência de tais padrões. Portanto, os estudos biogeográficos avaliam a relação de três componentes distintos para a compreensão dos padrões de distribuição da biota, o espaço, que se refere a área geográfica de ocorrência; o tempo, que envolve eventos históricos que influenciaram as condições atuais; e a forma, que expressa a variação e seleção dos organismos (HUMPHRIES, 2000). A compreensão dos fatores que controlam as distribuições de espécies e consequentemente os padrões de biodiversidade é o principal objetivo da ecologia e biogeografia. Alternativas teóricas já estabelecidas defendem processos completamente diferentes para explicar essas condições (GÓMEZ-RODRÍGUEZ; FREIJEIRO; BASELGA, 2015).

A teoria do nicho assume um controle mecânico das distribuições de espécies pelo meio ambiente (HUTCHINSON, 1991); a teoria neutra enfatiza o papel de processos de dispersão estocástica, especiação e extinção (HUBBELL; BORDA-DE-ÁGUA 2004). No entanto, há muitas teorias para os padrões macroecológicos, a exemplo da decadência da distância de similaridade, que pode ser explicada por diferenciação de nicho ou isolamento espacial (NEKOLA; WHITE, 1999; TUOMISTO; RUOKOLAINEN; YLI-HALLA, 2003; MARTINY et al., 2006); o gradiente de riqueza latitudinal, que poderia ser gerado por conservação e diferenciação de nicho das espécies (HAWKINS et al., 2003, 2006) ou por recolonização pós-glacial (SVENNING; SKOV, 2007; BASELGA et al., 2012); distribuição de espécies relacionada aos padrões biogeográficos de clados com diferentes características funcionais (SOININEN et al., 2007; JIMÉNEZ-VALVERDE et al., 2010). Ou ainda, seguindo nessa mesma linha, mas considerando padrões específicos de dissimilaridade que parecem ser determinados de forma independente tanto por processos de dispersão quanto de nicho (GÓMEZ-RODRÍGUEZ; FREIJEIRO; BASELGA, 2015).

De modo geral, a biogeografia considera dois eventos, um decorrente de variações de fatores ambientais considerados “contemporâneos” e outro relacionado ao isolamento continental ou a distância geográfica, que são aspectos “evolutivos ou históricos”, sendo a hipótese ecológica mais aceita atualmente por admitir que características ambientais atuem

como modeladores da distribuição e diversidade das comunidades biológicas (MARTINY et al., 2006; CEOLA, 2015). A geografia dos engenheiros do ecossistema do solo não pode ser entendida sem considerar a geografia dos solos como um todo, pois a conexão entre estes está no fato de que qualquer local na terra tem experimentado consideráveis mudanças ao longo do tempo devido à deriva continental, mudanças na topografia, alterações climáticas e alterações evolutivas da biota, todas imprimindo um legado na pele fina da terra que atualmente constitui o solo vivo (BRUSSAARD et al., 2012).

Ao estudar a biogeografia dos invertebrados edáficos, é necessário considerar a escala espacial de avaliação. Em escala espacial mais ampla, como a continental, as distribuições de espécies ocorrem em grande parte por processos biogeográficos que envolvem especiação, extinção e dispersão, considerando escalas temporais longas. Em nível intermediário, considerando uma escala regional ou bioma, a dispersão varia com a capacidade dos organismos em se dispersarem. Dispersão pode alterar padrões de distribuição de espécies, à medida que se estabelecem processos de triagem ecológica, que ocorrem quando as espécies são filtradas ou adicionadas, devido a sua tolerância fisiológica. O ambiente pode incluir fatores abióticos (temperatura, textura do solo, umidade, disponibilidade de luz e pH) e fatores bióticos (simbiontes, polinizadores, hospedeiros e presas). De modo geral, habitats similares em diferentes regiões podem ter diferente riqueza de espécies, porque diferentes contextos históricos das áreas levaram à ocupação por diferentes comunidades de invertebrados do solo considerados engenheiros de ecossistemas (BRUSSAARD et al., 2012).

Na escala menor, local, ou seja, no contexto da vizinhança, os processos dependentes da densidade operam mais intensamente e podem incluir competição, doença, herbivoria, fluxo de gene interespecífico, facilitação e mutualismo, além de interagir com o ambiente abiótico (BRUSSAARD et al., 2012; ARENAS-CLAVIJO; LAMBRECHT, 2019). Segundo Dauber et al. (2005), a composição dos habitats numa paisagem, devem ser considerados para a previsão e conservação da riqueza de espécies locais, mas também salientam que a qualidade do habitat, seja pelo tipo de uso da terra, microclima e condições do solo, são de grande importância para a fauna do solo. Essas modificações das paisagens em zonas rurais, ocorrem em grande parte, pela fragmentação de áreas que um dia fizeram parte de florestas contínuas e, posteriormente, foram convertidas em usos agrícolas, formando mosaicos heterogêneos e reduzindo a diversidade florística, que por sua vez é substituída pela monocultura extensiva e aplicação de compostos químicos altamente tóxicos que podem ter efeito a curto e longo prazo (SILVA et al., 2018; LIU et al, 2019).

Aliado a isso, as manchas florestais e os fragmentos de florestas remanescentes nas áreas de entorno das lavouras, no Brasil, geralmente são destinados a reserva legal (RL) e/ou são áreas de preservação permanente (APP). Estas são reguladas pela Lei nº 12.651 (BRASIL, 2012), onde, de maneira geral, atuam como locais de proteção da fauna, flora e dos recursos naturais, reduzindo assim os impactos causados pelos sistemas produtivos e o preparo do solo. No entanto, não há estudos que tenham respondido se tais áreas, no modelo atual, são suficientes para manter a biodiversidade e proporcionar a reposição e fluxo da fauna edáfica na paisagem. Sabe-se que a manutenção das florestas naturais próximas as áreas destinadas a produção agropecuária, favorecem muito mais a diversidade e a dispersão da macrofauna edáfica, do que quando distantes (MARICHAL et al., 2014; LASCALEIA et al., 2018).

Nessa perspectiva, o estudo dos coleópteros em diferentes escalas espaciais pode ajudar no entendimento das contribuições dos recursos ecológicos (locais) e fatores históricos (biogeográficos) para determinar como as comunidades respondem a mudanças ambientais e de que forma é possível melhorar a conservação da biodiversidade e estratégias de manejo (FLOHRE et al., 2011; BARRAGÁN et al., 2014; JOUVEAU et al., 2020). Conhecer os processos e as escalas em que esses processos operam pode contribuir para o estabelecimento de regimes agroambientais eficientes para a conservação da biodiversidade em paisagens cultivadas (DAUBER et al., 2005; FUSSER et al., 2018; ARENAS-CLAVIJO; ARMBRECHT, 2019).

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S. DA S. P. DE; LOUZADA, J. N. C. Community structure of Scarabaeinae (Scarabaeidae: Coleoptera) in Brazilian savannah phytophysiognomies and its importance for conservation. **Neotropical entomology**, v. 38, n. 1, p. 778–789, 2009.
- ARENAS-CLAVIJO, A.; ARMBRECHT, I. Soil ants (Hymenoptera: Formicidae) and ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in a coffee agroforestry landscape during a severe-drought period. **Agroforestry Systems**, v. 93, n. 5, p. 1781-1792, 2019.
- BARDGETT, R. D.; VAN DER PUTTEN, W. H. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. **Nature**, v. 515, p. 505–511, 2014.
- 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 Zoológica Mexicana**, n. 2, p. 135–150, 2010.

BARETTA, D. et al. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: **Tópicos em Ciência do Solo**. 2011. p. 119–170.

BARETTA, D. et al. Soil fauna and its relation with environmental variables in soil management systems. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 871–879, 2014.

BARRAGÁN, F. et al. The impact of grazing on dung beetle diversity depends on both biogeographical and ecological context. **Journal of Biogeography**, v. 41, n. 10, p. 1991–2002, 2014.

BASELGA, A. et al. Dispersal ability modulates the strength of the latitudinal richness gradient in European beetles. **Global Ecology and Biogeography**, v. 21, n. 11, p. 1106–1113, 2012.

BERNARDES, A. C. C. et al. Abundance and diversity of beetles (Insecta: Coleoptera) in land use and management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, e0190183, 2020.

BRASIL. Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 mai. 2012. Seção 1, p. 1.

BROWN, G. G. et al. Biodiversidade da Fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: PARRON, L. M. et al. (Ed.). **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: EMBRAPA, 2015. p. 113–154.

BRUSSAARD L. et al. Biogeography and Phylogenetic Community Structure of Soil Invertebrate Ecosystem Engineers: Global to Local Patterns, Implications for Ecosystem Functioning and Services and Global Environmental Change Impacts. In: WALL, D. H. (Ed.). **Soil Ecology and Ecosystem Services**. Oxford: Oxford University Press, 2012. p. 201-232.

CAJAIBA, R. L. et al. Does the composition of Scarabaeidae (Coleoptera) communities reflect the extent of land use changes in the Brazilian Amazon? **Ecological Indicators**, v. 74, p. 285–294, 2017.

CAMPOS, R. C.; HERNÁNDEZ, M. I. M. Changes in the dynamics of functional groups in communities of dung beetles in Atlantic forest fragments adjacent to transgenic maize crops. **Ecological Indicators**, v. 49, p. 216–227, 2015.

CEOLA, G. **Biogeografia e diversidade de Fungos Micorrízicos Arbusculares em cenários contrastantes de uso do solo e de regime hídrico**. 2015. 164 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2015.

CIVIDANES, F. J. et al. Edge effects on carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) between forest fragments and agricultural fields in south-east Brazil. **Austral Entomology**, v. 57, n. 1, p. 9–16, 2018.

CREAMER, R. E. et al. Ecological network analysis reveals the inter-connection between soil biodiversity and ecosystem function as affected by land use across Europe. **Applied Soil Ecology**, v. 97, p. 112–124, 2016.

DAUBER, J. et al. Local vs. landscape controls on diversity: A test using surface-dwelling soil macroinvertebrates of differing mobility. **Global Ecology and Biogeography**, v. 14, n. 3, p. 213–221, 2005.

DAVIS, A. L. V.; SCHOLTZ, C. H. Dung beetle conservation biogeography in southern Africa: current challenges and potential effects of climatic change. **Biodiversity and Conservation**, v. 29, n. 3, p. 667–693, 2020.

DECAËNS, T. et al. Potential of DNA barcoding for earthworm research in taxonomy and ecology. **Applied Soil Ecology**, v. 65, p. 35–42, 2013.

DECAËNS, T. et al. The values of soil animals for conservation biology. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, n. 1, p. 23–38, 2006.

DESUÓ, I. C.; DESUÓ, I. C.; GOMES, L. Ordem Coleoptera: aspectos gerais e aplicação na importância forense. In: GOMES, L. (Ed.). **Entomologia Forense: novas tendências e técnicas nas ciências criminais**. São Paulo: Technical Books Editora, 2010. p. 183–207.

DIEKÖTTER, T. et al. Landscape and management effects on structure and function of soil arthropod communities in winter wheat. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 137, n. 1–2, p. 108–112, 2010.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. **Methods for assessing soil quality**, v. 49, p. 25–37, 1997.

DUNXIAO, H. et al. Relationship between soil arthropods and soil properties in a suburb of Qianjiang City, Hubei, China. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 18, n. 3, p. 467-473, 1999.

FARIAS, P. M.; HERNÁNDEZ, M. I. M. Dung beetles associated with agroecosystems of southern Brazil: Relationship with soil properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1–13, 2017.

FARIAS, P. M. et al. Response of the copro-necrophagous beetle (Coleoptera: Scarabaeinae) assemblage to a range of soil characteristics and livestock management in a tropical landscape. **Journal of Insect Conservation**, v. 19, p. 947–960, 2015.

FLOHRE, A. et al. Agricultural intensification and biodiversity partitioning in European landscapes comparing plants, carabids, and birds. **Ecological Applications**, v. 21, n. 5, p. 1772–1781, 2011.

FORMAN, R. T. **Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions** (1995). The Ecological Design and Planning Reader. Island Press, Washington, DC, p. 217-234, 2014.

FOUNTAIN-JONES, N. M.; BAKER, S. C.; JORDAN, G. J. Moving beyond the guild concept: Developing a practical functional trait framework for terrestrial beetles. **Ecological Entomology**, v. 40, n. 1, p. 1–13, 2015.

FRANÇA, F. et al. Do space-for-time assessments underestimate the impacts of logging on tropical biodiversity? An Amazonian case study using dung beetles. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 4, p. 1098–1105, 2016.

FUSSER, M. S. et al. Interactive effects of local and landscape factors on farmland carabids. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 20, n. 4, p. 549-557, 2018.

GARDI, C. et al. Soil biodiversity monitoring in Europe: Ongoing activities and challenges. **European Journal of Soil Science**, v. 60, p. 807–819, 2009.

GARLET, J. et al. Fauna de Coleoptera Edáfica em Eucalipto sob Diferentes Sistemas de Controle Químico da Matocompetição. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 239–248, 2015.

GERISCH, M. Habitat disturbance and hydrological parameters determine the body size and reproductive strategy of alluvial ground beetles. **ZooKeys**, v. 100, p. 353–370, 2011.

GIBB, H. et al. Does wing morphology affect recolonization of restored farmland by ground-dwelling beetles? **Restoration Ecology**, v. 25, n. 2, p. 234–242, 2017.

GÓMEZ-RODRÍGUEZ, C.; FREIJEIRO, A.; BASELGA, A. Dispersal and ecological traits explain differences in beta diversity patterns of European beetles. **Journal of Biogeography**, v. 42, n. 8, p. 1526–1537, 2015.

HOMBURG, K. et al. Where have all the beetles gone? Long-term study reveals carabid species decline in a nature reserve in Northern Germany. **Insect Conservation and Diversity**, v. 12, n. 4, p. 268–277, 2019.

HUBBELL, S. P.; BORBA-DE-AGUA, L. The unified neutral theory of biodiversity and biogeography. **Ecology**, v. 85, p. 3175–3178, 2001.

HUMPHRIES, C. J. Form, space and time; which comes first? **Journal of Biogeography**, v. 27, n. 1, p. 11–15, 2000.

HUTCHINSON, G. E. Population studies: Animal ecology and demography. **Bulletin of Mathematical Biology**, v. 53, n. 1–2, p. 193–213, 1991.

JIMÉNEZ-VALVERDE, A. et al. Climate and regional beta-diversity gradients in spiders: Dispersal capacity has nothing to say? **Insect Conservation and Diversity**, v. 3, n. 1, p. 51–60, 2010.

JOUVEAU, S. et al. Carabid activity-density increases with forest vegetation diversity at different spatial scales. **Insect Conservation and Diversity**, v. 13, n. 1, p. 36–46, 2020.

LAPARIE, M. et al. Variation of morphometric traits in populations of an invasive carabid predator (*Merizodus soledadinus*) within a sub-Antarctic island. **Biological Invasions**, v. 12, n. 10, p. 3405–3417, 2010.

LASCALEIA, M. C. et al. Dung beetle richness decreases with increasing landscape structural heterogeneity in an African savanna-agricultural mosaic. **Insect Conservation and Diversity**, v. 11, n. 4, p. 396–406, 2018.

LEE, M. S.; ALBAJES, R. Monitoring carabid indicators could reveal environmental impacts of genetically modified maize. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 18, n. 3, p. 238–249, 2016.

- LEGAZ, B. V. et al. Soil quality, properties, and functions in life cycle assessment: an evaluation of models. **Journal of cleaner production**, v. 140, p. 502-515, 2017.
- LIU, S. et al. Comparative responses of termite functional and taxonomic diversity to land-use change. **Ecological Entomology**, v. 44, n. 6, p. 762-770, 2019.
- LIU, Y. et al. Ground Beetle (Coleoptera: Carabidae) Assemblages of Restored Semi-natural Habitats and Intensively Cultivated Fields in Northern China. **Restoration Ecology**, v. 20, n. 2, p. 234–239, 2012.
- LOUZADA, J. N. C. Scarabaeine (Coleoptera: Scarabaeidae) detritívoros em ecossistemas tropicais: biodiversidade e serviços ambientais. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSARD, L. (Eds.). **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: UFLA, 2008. p. 309–332.
- MARICHAL, R. et al. Soil macroinvertebrate communities and ecosystem services in deforested landscapes of Amazonia. **Applied Soil Ecology**, v. 83, p. 177–185, 2014.
- MARINONI, R. C.; GANHO, N. G. Fauna de Coleoptera no Parque Estadual de Vila Velha, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. Abundância e riqueza das famílias capturadas através de armadilhas de solo. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 20, n. 4, p. 737–744, 2003.
- MARTINS, C. M. et al. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no Semiárido De Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1883–1890, 2010.
- MARTINY, J. B. H. et al. Microbial biogeography: Putting microorganisms on the map. **Nature Reviews Microbiology**, v. 4, n. 2, p. 102–112, 2006.
- MENTA, C. et al. Soil Biological Quality index (QBS-ar): 15 years of application at global scale. **Ecological Indicators**, v. 85, p. 773–780, 2018.
- MICKAËL, H. et al. Orchard management influences both functional and taxonomic ground beetle (Coleoptera: Carabidae) diversity in South-East France. **Applied Soil Ecology**, v. 88, p. 26–31, 2015.

- MILHOMEM, M. S.; MELLO, F. Z. V. DE; DINIZ, I. R. Técnicas de coleta de besouros copronecrófagos no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 11, p. 1249–1256, 2003.
- MILOTIĆ, T. et al. Linking functional group richness and ecosystem functions of dung beetles: an experimental quantification. **Oecologia**, v. 183, n. 1, p. 177-190, 2017.
- NEKOLA, J. C.; WHITE, P. S. The distance decay of similarity in biogeography and ecology. **Journal of Biogeography**, v. 26, n. 4, p. 867–878, 1999.
- NG, K. et al. Contrasting beetle assemblage responses to cultivated farmlands and native woodlands in a dynamic agricultural landscape. **Ecosphere**, v. 8, n. 12, 2017.
- NG, K. et al. Disentangling the effects of farmland use, habitat edges, and vegetation structure on ground beetle morphological traits. **Oecologia**, v. 188, n. 3, p. 645-657, 2018.
- NICHOLS, E. et al. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. **Biological Conservation**, v. 141, p. 1461–1474, 2008.
- NICHOLS, E. et al. Trait-dependent response of dung beetle populations to tropical forest conversion at local and regional scales. **Ecology**, v. 94, n. 1, p. 180-189, 2013.
- NIERO, M. M.; HERNÁNDEZ, M. I. M. Influência da paisagem nas assembleias de Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) em um ambiente agrícola no sul de Santa Catarina. **Biotemas**, v. 30, n. 3, p. 37–48, 2017.
- NOLTE, D. et al. Functional traits drive ground beetle community structures in Central European forests: Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 213, p. 5-12, 2017.
- OLIVEIRA FILHO, L. C. I. et al. Collembola community structure as a tool to assess land use effects on soil quality. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1-18, 2016.
- OLIVER, I.; BEATTIE, A. J. Invertebrate morphospecies as surrogates for species: A case study. **Conservation Biology**, v. 10, n. 1, p. 99–109, 1996.
- OLIVERIO, A. M. et al. A DNA metabarcoding approach to characterize soil arthropod communities. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 125, p. 37-43, 2018.

- PARISI, V. La qualità biologica del suolo. Un metodo basato sui microartropodi. **Acta Naturalia de L'Ateno Parmense**, v. 37, p. 97–106, 2001.
- PARISI, V. et al. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: A new approach in Italy. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 105, p. 323–333, 2005.
- PEY, Benjamin et al. Current use of and future needs for soil invertebrate functional traits in community ecology. **Basic and Applied Ecology**, v. 15, n. 3, p. 194–206, 2014.
- POMPEO, P. N. **Diversidade de morfotipos e famílias de Coleoptera em sistemas agrícolas e florestais do Planalto Catarinense**. 2016. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2016.
- POMPEO, P. N. et al. Fauna e sua relação com atributos edáficos em Lages, Santa Catarina-Brasil. **Scientia Agraria**, v. 17, n. 1, 2016.
- POMPEO, P. N. et al. Morphological diversity of coleoptera (Arthropoda: Insecta) in agriculture and forest systems. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 41, p. e0160433, 2017.
- POMPERMAIER, V. T. et al. Impact of exotic pastures on epigeic arthropod diversity and contribution of native and exotic plant sources to their diet in the central Brazilian savanna. **Pedobiologia**, v. 78, p. 150607, 2020.
- PORTILHO, I. I. R. et al. Fauna invertebrada e atributos físicos e químicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1310–1320, 2011.
- PUECH, C. et al. Organic vs. conventional farming dichotomy: Does it make sense for natural enemies? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 194, p. 48–57, 2014.
- RAUPACH, M. J. et al. A DNA barcode library for ground beetles of germany: The genus *Amara* Bonelli, 1810 (Insecta, Coleoptera, Carabidae). **ZooKeys**, v. 759, p. 57–80, 2018.
- REIS, F. et al. The use of a functional approach as surrogate of Collembola species richness in European perennial crops and forests. **Ecological Indicators**, v. 61, p. 676–682, 2016.

SALOMÃO, R. P. et al. Landscape structure and composition define the body condition of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) in a fragmented tropical rainforest. **Ecological Indicators**, v. 88, p. 144–151, 2018.

SILVA, R. A. et al. Spatial variability of soil fauna under different land use and managements. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, e0170121, 2018.

SOININEN, J.; MCDONALD, R.; HILLEBRAND, H. The distance decay of similarity in ecological communities. **Ecography**, v. 30, n. 1, p. 3–12, 2007.

STOCKAN, J. A. et al. Effects of riparian buffer strips on ground beetles (Coleoptera, Carabidae) within an agricultural landscape. **Insect Conservation and Diversity**, v. 7, n. 2, p. 172–184, 2014.

SVENNING, J. C.; SKOV, F. Could the tree diversity pattern in Europe be generated by postglacial dispersal limitation? **Ecology Letters**, v. 10, n. 6, p. 453–460, 2007.

TISSIANI, A. S. DE O.; VAZ-DE-MELLO, F. Z.; CAMPELO-JÚNIOR, J. H. Dung beetles of Brazilian pastures and key to genera identification (Coleoptera: Scarabaeidae). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 6, p. 401–418, 2017.

TSENG, M.; PARI, S. S. Body size explains interspecific variation in size–latitude relationships in geographically widespread beetle species. **Ecological entomology**, v. 44, n. 1, p. 151–156, 2019.

TUOMISTO, H.; RUOKOLAINEN, K.; YLI-HALLA, M. Floristic Variation of Western Amazonian Forests. **Science**, v. 241, n. 2003, p. 241–4, 2003.

VANDEWALLE, M. et al. A. Functional traits as indicators of biodiversity response to land use changes across ecosystems and organisms. **Biodiversity and Conservation**, v. 19, p. 2921–2947, 2010.

VICIAN, V. et al. Influence of tree species and soil properties on ground beetle (Coleoptera: Carabidae) communities. **Acta Oecologica**, v. 91, p. 120–126, Mar. 2018.

WINK, C. et al. Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 4, n. 1, p. 60–71, 2005.

YAMADA, D. et al. Effect of tunneler dung beetles on cattle dung decomposition, soil nutrients and herbage growth. **Grassland Science**, v. 53, p. 121–129, 2007.

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.

## 5 CAPÍTULO 1: BIOGEOGRAFIA DE COLEÓPTEROS (INSECTA: COLEOPTERA) DO SOLO EM SANTA CATARINA

### RESUMO

O objetivo do presente capítulo foi avaliar a distribuição de comunidades de morfoespécies de coleópteros edáficos, sua relação com as variáveis ambientais e espaciais, considerando os principais usos do solo em Santa Catarina, Brasil. O estudo foi realizado ao longo de um gradiente geográfico, em escala regional, envolvendo quatro regiões (Oeste, Planalto, Leste e Sul) e cinco usos do solo (plantio direto, integração lavoura-pecuária, pastagem, reflorestamento de eucalipto e floresta nativa) em três municípios de cada região. Foram analisados coleópteros coletados em grade de amostragem com nove pontos, distanciados entre si em 30 m, no inverno e verão. Os métodos de coleta dos coleópteros envolveram a escavação de monólitos de solo (*Tropical Soil Biology and Fertility – TSBF*) e armadilhas de queda. Também foram avaliados atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo e considerados como variáveis ambientais explicativas nas análises estatísticas. As regiões Leste e Sul são mais similares, em relação as comunidades de morfoespécies de coleópteros, assim como Planalto e Oeste. Os atributos do solo pH, Ca/Mg, Mg, carbono orgânico total, areia, umidade, macroporos, densidade do solo, carbono microbiano e respiração microbiana, apresentaram relação significativa com a distribuição dos coleópteros. Entretanto, essa relação depende das variáveis de manejo (uso de agrotóxicos, calagem e presença de animais de produção), classe de solo e variáveis espaciais. A distribuição biogeográfica dos coleópteros do solo variou ao longo das quatro regiões estudadas.

### 5.1 INTRODUÇÃO

Os coleópteros (Insecta: Coleoptera) compreendem um grupo muito expressivo dos insetos, presente em diversos ecossistemas, sejam eles terrestres ou aquáticos. No solo, assim como outros invertebrados, os coleópteros desempenham diversas funções, por exemplo a dispersão de sementes, controle biológico, fragmentação e transporte de resíduos orgânicos, constroem túneis e galerias em diferentes profundidades, contribuem na estruturação do solo e ciclagem de nutrientes (NICHOLS et al., 2008; GARLET et al., 2015; FARIAS; HERNÁNDEZ, 2017; CIVIDANES et al., 2018; BERNARDES et al., 2020).

Por esse grupo taxonômico ser abundante e de ocorrência global, vem sendo amplamente estudado ao longo do tempo e tem sua ecologia bastante conhecida, por isso é considerado relativamente fácil de coletar, reconhecer e encontrar informações na bibliografia científica e em bases de dados (GÓMEZ-RODRIGUES; FREIJEIRO; BASELGA, 2015). Contudo, acredita-se que existem muitas espécies ainda não descobertas e/ou identificadas (STORK, 2018).

Os coleópteros são utilizados em diversas pesquisas como indicadores biológicos, por serem capazes de demonstrar as consequências das atividades antrópicas e alterações ambientais (LEACH et al., 2013; CAJAIBA et al., 2017; HOMBURG et al., 2019). Apesar disso, sua biogeografia e relação com o ambiente solo ainda precisam ser melhor estudadas. E assim, contribuirão com o monitoramento dos ecossistemas e práticas de manejo agrícolas adequadas em condições específicas de solo, clima, vegetação e posição geográfica, visando a preservação da biodiversidade (BARRETTO; MEDINA; ESCOBAR, 2019; BERNARDES et al., 2020).

A biogeografia estuda a distribuição espacial dos seres vivos ao longo do tempo, buscando entender os padrões de organização geográfica dos organismos e os processos que contribuem para a ocorrência de tais padrões (HUMPHRIES, 2000). A geografia dos “engenheiros do ecossistema” não pode ser entendida sem considerar a geografia dos solos como um todo. Ao longo do tempo, ocorreram consideráveis mudanças no planeta devido as alterações no relevo, climáticas e evolutivas da biota, todas imprimindo um legado na superfície da terra que atualmente constitui o solo vivo (BRUSSAARD et al., 2012).

Os estudos da biogeografia dos coleópteros do solo tem aumentado, como em pesquisa abrangendo diferentes lugares no mundo (CABRERO-SAÑUDO; LOBO, 2009); na Europa (BASELGA et al., 2012; GÓMEZ-RODRÍGUEZ; FREIJEIRO; BASELGA, 2015; NOLTE et al., 2017); na América do Norte (TSENG; PARI, 2018); no México (BARRAGÁN et al., 2014); na África (DAVIS; SCHOLTZ, 2020); na Argentina (WERENKRAUT; RUGGIERO, 2014); no Brasil (FRANÇA et al., 2016). Essas pesquisas, em escalas mais amplas, contribuem para verificar padrões de como as comunidades respondem as condições ambientais, sejam elas climáticas ou de mudança na cobertura vegetal ao longo do espaço e do tempo.

No Estado de Santa Catarina, Brasil, alguns trabalhos foram publicados relacionando os coleópteros com sistemas de uso da terra e atributos do solo (POMPEO et al., 2016; POMPEO et al., 2017; POMPEO et al., 2020) outros mais específicos a uma subfamília (Scarabaeinae) (FARIAS; HERNÁNDEZ, 2016; NIERA; HERNÁNDEZ, 2017), com o intuito de compreender o potencial bioindicador das mudanças no ambiente ou as consequências nos

serviços ecossistêmicos. Entretanto, ainda é necessário um estudo biogeográfico mais abrangente, capaz de verificar a distribuição desses organismos em diferentes regiões do Estado. Além disso, é importante analisar quais variáveis ambientais estão relacionadas a essa distribuição e/ou quais fatores são determinantes para a dissimilaridade das comunidades de coleópteros do solo.

Baseado nas informações apresentadas, foram testadas as seguintes hipóteses: (i) Os sistemas de uso do solo e regiões interferem na abundância, riqueza e diversidade das morfoespécies de coleópteros do solo; (ii) Ocorrem dissimilaridades nas comunidades de coleópteros do solo entre as regiões Leste, Sul, Planalto e Oeste de Santa Catarina e há dependência espacial; (iii) As variáveis ambientais (atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo, classe de solo e manejo) e espaciais, interferem nos padrões de distribuição dos coleópteros; (iv) Existem morfoespécies de coleópteros indicadoras dos usos do solo nas quatro regiões estudadas. Nesse sentido, o objetivo do presente capítulo foi avaliar a distribuição biogeográfica de comunidades de coleópteros edáficos, sua relação com as variáveis ambientais, espaciais e encontrar morfoespécies indicadoras considerando os principais usos do solo em Santa Catarina, Brasil.

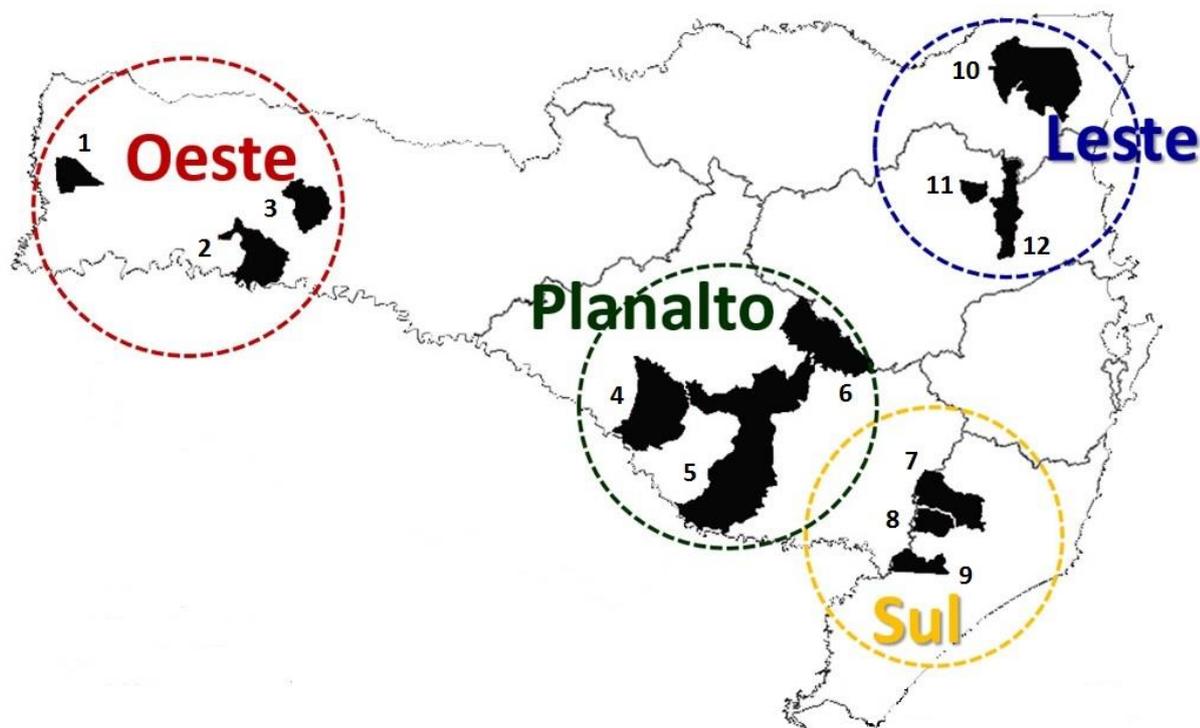
## 5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.2.1 Locais de estudo

O estudo foi realizado ao longo de um gradiente geográfico do Oeste para o Leste do Estado de Santa Catarina, Brasil, envolvendo quatro diferentes regiões: Oeste, Planalto, Sul e Leste. Em cada uma das regiões foram selecionados três municípios que representam as repetições do estudo (Figura 1). Informações sobre coordenadas geográficas e classes de solo, podem ser visualizadas no Apêndice A1.

Os três municípios de cada região foram selecionados de acordo com suas características geográficas, tipo de solo e histórico de manejo e considerados como as réplicas verdadeiras dos sistemas a serem estudados. A região do Planalto Sul Catarinense é caracterizada, de acordo com a classificação climática de Köppen, como subtropical úmida, com clima oceânico (Cfb), sem estação seca, com chuvas bem distribuídas e temperatura média do mês mais quente menor que 22 °C, com verão ameno. Nas demais regiões (Oeste, Leste e Sul), segundo esta mesma classificação, o clima é do tipo Cfa, subtropical com verões quentes (ALVARES et al., 2013).

Figura 1 - Regiões e municípios do Santa Catarina envolvidos no estudo.



Fonte: Adaptado de Ceola (2015). Legenda: São Miguel do Oeste (1), Chapecó (2), Xanxerê (3), Campo Belo do Sul (4), Lages (5), Otacílio Costa (6), Orleans (7), Lauro Müller (8), Siderópolis (9), Joinville (10), Timbó (11), Blumenau (12).

Os sistemas de uso do solo (SUS) que envolvem o estudo, são cinco ecossistemas de ocorrência generalizada no Sul do Brasil e são áreas com crescente interferência antrópica no uso do solo, sendo: floresta nativa (FN); reflorestamento de eucalipto (RE); pastagem perene (PA); integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD). As amostras dos coleópteros e do solo foram coletadas de forma sistemática, em grade amostral de três x três pontos, com espaçamento entre cada ponto de 30 m e 20 m de bordadura, ou seja, a área de 1 ha (100 m x 100 m) para cada SUS. Nesta etapa foram realizadas coletas em duas épocas, no inverno (Julho-Agosto de 2011) e verão (Dezembro/2011 e Janeiro/2012). Informações sobre histórico e manejo dos SUS estão expostas no Apêndice A2. Informações também podem ser obtidas em Bartz et al. (2014), Rosa et al. (2015), Souza et al. (2016), Pompeo et al. (2017) e Santos et al. (2018); Pompeo et al. (2020).

### 5.2.2 Amostragem dos coleópteros do solo

Para a coleta dos invertebrados edáficos, utilizaram-se dois métodos de amostragem. O primeiro método é baseado no *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF) (ANDERSON; INGRAM, 1993). Esse é um método quantitativo que consiste na coleta de monólitos de solo de 25 x 25 cm de lado e 20 cm de profundidade, com auxílio de um marcador constituído de chapas de ferro galvanizadas. Os organismos do grupo Coleoptera visíveis a olho nu foram triados e separados manualmente. O segundo método, são *Pitfall traps*, constituídas por recipientes cilíndricos de 8 cm de diâmetro, com capacidade volumétrica de 500 mL, contendo 200 mL de solução detergente a 0,5% (v/v). Os recipientes foram enterrados no solo com sua extremidade vazada nivelada com a superfície do solo e mantidos por três dias no campo (BARETTA et al., 2014). Após essa etapa os organismos foram armazenados em álcool 80% para posterior identificação.

### 5.2.3 Identificação dos coleópteros do solo

Os coleópteros foram identificados e separados em morfoespécies, ou seja, uma avaliação visual dos indivíduos com características morfológicas diferentes. Esta etapa geralmente é utilizada quando se tem grande quantidade de amostras e pode ser feita por pessoa treinada para esse tipo de observação (OLIVER; BEATTIE et al., 1996; MARINONI; GANHO, 2003; NG et al., 2017; GIBB et al., 2017; NG et al., 2018).

Inicialmente as morfoespécies foram caracterizadas em planilhas, fotografadas com câmera acoplada em microscópio estereoscópico, utilizando Software de Imagem AxioVision 4.9© (ZEISS, 2017). Os indivíduos, definidos como referências de identificação, foram fixados em álcool etílico absoluto 99,5%, em amostras separadas.

A seleção dos itens avaliados nos coleópteros, leva em consideração as principais características morfológicas geralmente utilizadas por taxonomistas para sua identificação, ou seja, cabeça, antenas, características torácicas, pernas, abdome, também outras de possível percepção como tamanho, forma e cor (TRIPLEHORN; JOHNSON, 2015). A observação cuidadosa destes atributos foi feita com ampliação de até 50 vezes, possibilitando a distinção entre as morfoespécies.

Foram avaliados os seguintes atributos:

- a) Diferenças de subordens (Adephaga e Polyphaga);
- b) Forma do corpo: alongado, alongado oval ou oval;
- c) Tamanho em mm;
- d) Cor (preto, castanho claro, castanho escuro, colorido, metálico);

- e) Tipo de antena (lamelada, clavada, capitada, filiforme, moniliforme, pectinada, serreada, flabelada, imbricada, etc);
- f) Dobras nas antenas (geniculada; presença ou ausência);
- g) Pernas: Fórmula tarsal (número de tarsos dos três pares de pernas);
- h) Élitros: estrias e pubescência (presença ou ausência);
- i) Outras características: descrição mais detalhada das partes do corpo, como exposição do abdome, cavidade coxal, mandíbulas, manchas, espinhos, cabeça diferenciada, etc.;
- j) Família (auxílio das chaves de identificação).

Após a identificação das morfoespécies referências, a observação dos demais indivíduos foram realizadas por comparação. Se o inseto observado não se encaixou nas características descritas anteriormente, foi considerado como uma nova referência. Nesse caso, este também foi caracterizado, fotografado e separado (POMPEO, 2016).

Na sequência as morfoespécies foram identificadas até família com auxílio de chaves de identificação e/ou caracterizações contidas na literatura (LIMA, 1952-55; CASARI; IDE, 2012; TRIPLEHORN; JOHNSON, 2015), a nomenclatura e ocorrência foram verificadas no Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil (MONNÉ; COSTA, 2020). Também foram comparadas com imagens de bancos de dados online (ESALQ, 2020; COLEOPTERA NEOTROPICAL, 2020; BUGGUIDE, 2020). O material foi depositado em álcool absoluto no Laboratório de Ecologia do Solo da UDESC-CAV em Lages, SC.

#### **5.2.4 Atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo**

Para as análises químicas e microbiológicas do solo, foram coletadas quinze subamostras ao redor de cada ponto da grade amostral na camada de 0-10 cm, para formar uma amostra composta representativa. Os atributos químicos avaliados foram, potencial hidrogeniônico (pH), pH em solução tampão SMP (pH SMP), fósforo (P), potássio (K), matéria orgânica (MO), alumínio (Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), capacidade de troca de cátions pH 7,0 (CTC); soma de bases trocáveis (Bases). A avaliação dos atributos químicos seguiu a metodologia de Tedesco et al. (1995).

As amostras de solo com estrutura preservada, para as análises físicas, foram retiradas com cilindros de aço de 5 cm de altura e 5 cm de diâmetro, sendo coletada uma amostra por ponto. Foram analisados, por cilindro de solo amostrado, a porosidade total (PT), microporos (Micro), macroporos (Macro) e bioporos (Bio) seguindo Manual da Embrapa (CLAESSEN, 1997). A resistência do solo à penetração de raízes foi avaliada por meio de penetrômetro de

bancada Marconi® modelo MA-933, em amostras com umidade estável na tensão de 6 kPa. A umidade do solo volumétrica foi determinada em laboratório, com as amostras secas em estufa a 105 °C por 24 horas, também foi avaliada a densidade do solo ( $D_s$ ), seguindo manual da Embrapa (CLAESSEN, 1997). Além disso, foram separadas amostras de solo com torrões para avaliação da estabilidade de agregados (KEMPER; CHEPIL, 1965). A granulometria do solo (areia, argila e silte) foi determinada pelo método da pipeta (GEE; BAUDER, 1986).

Nas análises dos atributos ligados a dinâmica do carbono no solo, o carbono da biomassa microbiana (CMic) foi determinado pelo método de fumigação-extração (VANCE et al., 1987), a atividade microbiana foi avaliada pela determinação da respiração basal microbiana (RMic) (ALEF; NANNIPIERI, 1995). Com os resultados de RMic e do CMic foi calculado o quociente metabólico ( $qCO_2$ ) (TÓTOLA; CHAER, 2002). O carbono orgânico total (COT) e o carbono orgânico particulado (COP) (CAMBARDELLA; ELLIOT, 1992) foram determinados por combustão seca pelo autoanalisador elementar de CNHS Vario EL Cube. A partir dos resultados de CMic e COT foi calculado o quociente microbiano ( $qMic$ ) (ANDERSON, 1994).

### 5.2.5 Análises dos dados

#### *Avaliação do inventário, abundância, riqueza e diversidade dos coleópteros do solo*

Para a realização das análises foram utilizadas matrizes contendo as abundâncias dos dois métodos de amostragem juntos (monólitos de solo e armadilhas de queda), por época de coleta. Essa forma de utilização dos dados já foi descrita em outros estudos (POMPEO et al., 2016b; POMPEO et al., 2017; ALEXANDRE, 2019). A partir da listagem de morfoespécies de coleópteros identificadas, foi construído um diagrama de Venn para melhor visualização do inventário considerando as regiões de amostragem, utilizando o pacote VennDiagram (CHEN, 2018), no *software* estatístico R (R CORE TEAM, 2010). As análises foram realizadas usando o valor de três municípios (nove amostras por município) como réplicas verdadeiras ( $n = 3 \times 9 = 27$ ) em cada uso, totalizando 135 pontos em cada época de coleta e por região, as 9 amostras de cada SUS e município foram agrupadas, formando uma matriz de dados com 60 amostras.

A matriz de dados de abundância de morfoespécies de coleópteros foi utilizada para as diferentes análises. Para comparar as diferenças de abundância e riqueza de morfoespécies entre os cinco SUS e as quatro regiões, foi realizada ANOVA fatorial, atendendo os pressupostos de distribuição normal dos resíduos e homogeneidade de variâncias com transformações dos dados  $\log(x+1)$  quando necessário. Quando verificado resultado significativo na ANOVA foi adotado

o teste *post hoc* de Newman-Keuls ( $p < 0,05$ ), no software STATISTICA 10 (STATSOFT, 2011). Os índices de riqueza, dominância, diversidade e equabilidade das morfoespécies de Coleoptera foram calculados pelos índices de Margalef, Simpson, Shannon-Weaver e Pielou, utilizando o software PAST 4.01 versão 2020 (HAMMER et al., 2001). Com o intuito de comparar os resultados dos índices entre regiões, usos do solo independente de região e os usos de cada região foram realizados testes de Kruskal-Wallis ( $p \leq 0,05$ ), no *software* STATISTICA 10 (STATSOFT, 2011).

#### *Avaliação da distribuição biogeográfica e dependência espacial*

Foram realizadas *Principal Coordinates Analysis* (PCoA), considerando as regiões e SUS como fatores, com base na matriz de similaridade após transformação dos dados  $\log(x+1)$  e a aplicação do índice de Bray-Curtis, para visualizar a distribuição das morfoespécies de colópteros. Para verificar as diferenças estatísticas entre regiões e SUS foram realizadas *Permutational Multivariate Analysis of Variance* (PERMANOVA), também com base no índice de Bray-Curtis da matriz de dados de abundância transformados (com 999 permutações), sendo “Região” considerada como efeito fixo e “SUS *nested* em Região” como efeito aleatório, com o objetivo de avaliar a variabilidade entre regiões com a detecção de diferenças entre os SUS em cada região, com comparações múltiplas *a posteriori*.

A análise de *Similarity Percentage* (SIMPER) foi utilizada para verificar quais morfoespécies mais contribuíram para a separação das regiões. As análises descritas acima, foram realizadas no *software* PRIMER 6 (CLARKE & GORLEY, 2005). Também, foi verificada a ocorrência de cada morfoespécie por região do Estado de Santa Catarina, seguindo a classificação de ocorrência em generalizada ( $\geq 66\%$  das áreas), frequente (de 34 a 65% das áreas), ocasional ( $\leq 33\%$ ), ausente (sem ocorrência).

Uma questão importante a ser respondida é se a distância espacial influencia na distribuição da comunidade de morfoespécies de coleópteros. Para verificar se locais espacialmente mais próximos são mais parecidos em relação a composição de coleópteros do solo, foi realizado um teste de Mantel, que avalia a correlação entre duas matrizes de dissimilaridade, neste caso uma matriz de distância espacial (Euclidiana), com base nas coordenadas geográficas e outra de dissimilaridade relativa as comunidades de coleópteros do solo (Bray-Curtis). Além deste, foi realizado teste de Mantel Parcial para verificar a correlação condicionada a uma terceira matriz, incluindo as matrizes dos atributos do solo, manejo e classes de solo, para esta análise foram selecionadas variáveis do solo não colineares e que possuíssem relação significativa com a comunidade de morfoespécies de Coleoptera. Para

calcular as matrizes de similaridade dos conjuntos de dados, utilizou-se distância Euclidiana para as variáveis químicas, físicas e microbiológicas do solo e Jaccard para as variáveis de classe de solo e manejo (presença e ausência), pacote *vegan* (OKSANEN et al., 2019), no *software* estatístico R (R CORE TEAM, 2020).

#### *Avaliação da relação da comunidade de Coleoptera com as variáveis ambientais*

Para definir frações de explicação da variância da matriz de dados biológicos utilizando conjuntos de dados espaciais (polinômios calculados a partir das coordenadas UTM) e ambientais (atributos do solo e manejo), foi realizada a partição das variâncias multivariadas da *distance-based Redundancy Analysis (dbRDA)*, tendo como base a matriz resultante da PCoA, utilizando a distância de Bray-Curtis. Nestas análises as variáveis explicativas significativas foram selecionadas por *forward selection* e a colinearidade foi verificada, sendo eliminadas variáveis quando necessário com base no seu valor *Variance Inflation Factor (VFI)*. O traço canônico e a significância da influência da fração de dados explicativos sobre a matriz biológica, foram verificados por permutações e teste de Monte-Carlo ( $p \leq 0,05$ ).

Com o objetivo de demonstrar a dissimilaridade na composição de espécies, relacionada as variáveis ambientais explicativas (atributos selecionados na partição das variâncias), sem retirar o efeito do manejo e da distância espacial, foi realizada a *dbRDA*. Nos gráficos da *dbRDA* apresentados, foram plotadas apenas as 30 morfoespécies de maior ocorrência para possibilitar melhor visualização. Também foram plotadas as amostras por SUS para ajudar nas interpretações e discussões dos resultados, utilizando o *software* CANOCO 5.0 (ter BRAAK & SMALAUER, 2012).

#### *Avaliação dos coleópteros indicadores dos usos do solo*

Para verificar as morfoespécies indicadoras dos SUS, foi realizada a análise IndVal, avaliando as espécies indicadoras por região devido ao grande número de morfoespécies identificadas e a variabilidade entre regiões. Para esta análise foi utilizado o pacote *labdsv* (ROBERTS, 2019) no *software* estatístico R (R CORE TEAM, 2020).

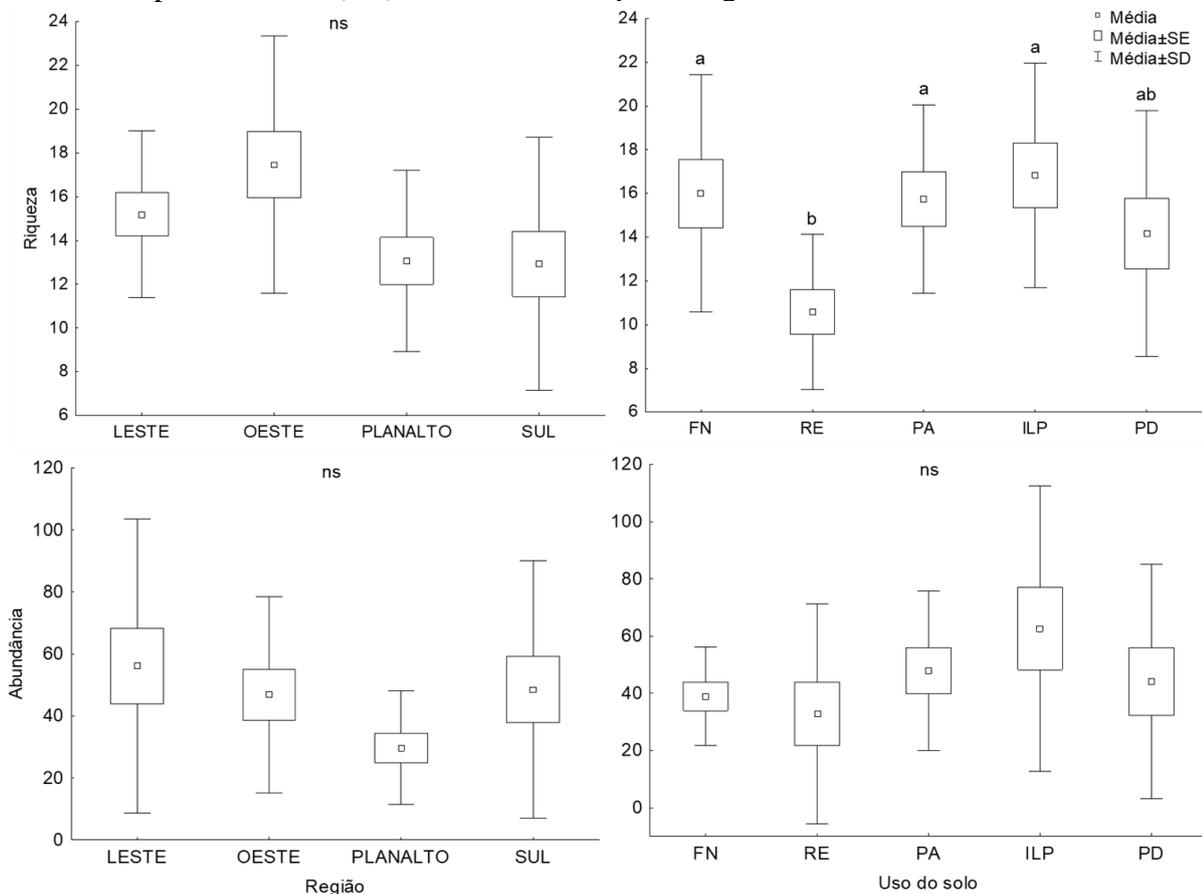
### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.3.1 Inventário, abundância, riqueza e índices de diversidade de morfoespécies de coleópteros do solo

O total de coleópteros adultos amostrados foi de 5.361 indivíduos, sendo 2.716 no inverno e 2.645 no verão. Foram identificadas 200 morfoespécies, destas, 58 ocorreram em todas as regiões, 14 exclusivamente no Oeste, 14 no Leste, 21 no Planalto e 18 no Sul, independentemente do SUS e época de coleta (outras relações podem ser visualizadas pelo Diagrama de Venn, (Apêndice A3).

Os resultados da ANOVA para riqueza e abundância de morfoespécies de Coleoptera (Apêndice A4), demonstraram que houve diferença da riqueza entre usos do solo tanto no inverno quanto no verão e entre regiões apenas no verão ( $p < 0,05$ ). Quanto a abundância, foi significativa apenas no verão. Em nenhuma das épocas houve interação significativa entre região e uso. A comparação aos pares está exposta na Figura 2.

Figura 2 - Riqueza e abundância de morfoespécies de Coleoptera em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no inverno em quatro regiões do Estado de Santa Catarina.

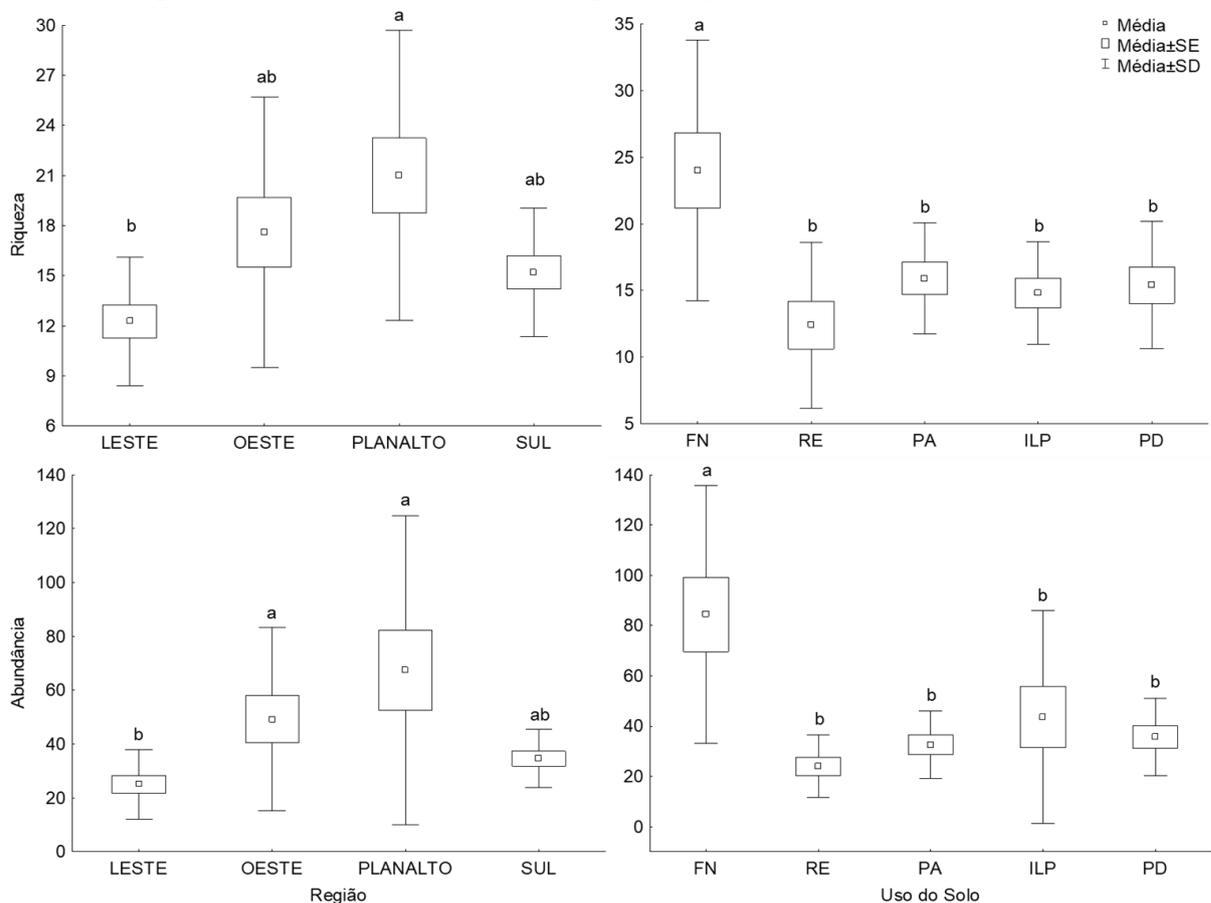


Fonte: Elaborada pela autora, 2020. Valores médios seguidos pela mesma letra são similares segundo o teste Newman-Keuls ( $p < 0,05$ ;  $n=60$ ); ns = não significativo.

A riqueza dos coleópteros no inverno demonstrou menor valor médio para o sistema RE comparada a FN, PA e ILP, apenas não diferiu de PD (Figura 2). No verão, a região com maior riqueza de morfoespécies de coleópteros foi o Planalto, quando comparado com o Leste e a abundância apresentou maiores médias no Planalto e Oeste e menor no Leste (Figura 3). Na comparação do box-plot entre usos, a FN foi o sistema com maior riqueza e abundância em comparação aos demais (RE, PA, ILP e PD).

A região e o uso com maiores abundâncias são aqueles com maiores médias de riqueza (Figura 3). Os valores mais elevados de abundância e riqueza de coleópteros em FN já eram esperados, por este ser um sistema de referência, com mínima interferência antrópica e presença de vegetação nativa bem estabelecida (Apêndice A2). Essas condições em FN podem oferecer maior disponibilidade de recursos, microclima mais ameno principalmente na época do verão onde o calor é intenso, maior sombreamento, umidade e conseqüentemente favorecer o estabelecimento dos coleópteros nesse ambiente.

Figura 3 - Riqueza e abundância de morfoespécies de Coleoptera em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no verão em quatro regiões do Estado de Santa Catarina.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020. Valores médios seguidos pela mesma letra são similares segundo o teste Newman-Keuls ( $p < 0,05$ ;  $n=60$ ); ns = não significativo.

Outros autores já verificaram a maior riqueza e abundância de coleópteros em usos com vegetação nativa, quando comparados com sistemas agrícolas, assim como no presente estudo (PORTILHO et al., 2011; NG et al., 2017; BERNARDES et al., 2020). Bernardes et al. (2020), ao avaliarem os coleópteros do solo na região do Cerrado Brasileiro, verificaram maior riqueza de gêneros desses invertebrados em áreas de vegetação nativa preservadas, também abundância elevada de indivíduos. Ng et al. (2017), ao estudarem usos do solo agrícolas e florestais no sudeste da Austrália, verificaram maior riqueza de morfoespécies de Coleoptera em fragmentos remanescentes de florestas. Portilho et al. (2011), observaram maior abundância de coleópteros em área de floresta nativa semidecídua do que em sistemas com cultivo agrícolas e pastagem, no Estado do Mato Grosso do Sul, Brasil.

Quanto aos resultados dos índices, no inverno não foram encontradas diferenças significativas nos valores dos índices de dominância de Simpson, diversidade de Shannon-Weaver, riqueza de Margalef e equabilidade de Pielou, entre regiões, independente de SUS, usos por região ou usos independente de região, de acordo com o teste Kruskal-Wallis ( $\alpha = 5\%$ ) (Tabela 2).

Apesar de não terem sido encontradas diferenças significativas entre SUS de cada região, observa-se valores mais elevados de Simpson, Shannon e Pielou em PA na região Leste e de Margalef para o uso PD. Na região Oeste, os valores mais elevados de diversidade de Simpson e Shannon ocorreram em FN, assim como Margalef; equabilidade de Pielou foi mais elevado em RE. No Planalto os valores mais elevados de Simpson e Pielou foram observados em PD; Shannon e Margalef em FN. No Sul, Simpson, Shannon e Margalef foram mais elevados em ILP e Pielou em FN (Tabela 2).

No verão, os índices de Shannon e Margalef foram significativamente maiores no Planalto quando comparados com a região Leste, independentemente do SUS. Não foram verificadas diferenças entre os SUS de cada região, mas quando comparados sem considerar a região amostrada, o índice Margalef apresentou diferenças entre FN e RE ( $p = 0,015$ ), sendo maior na FN; também foram encontradas diferenças para a equabilidade de Pielou entre FN e RE ( $p = 0,020$ ), FN e PA ( $0,025$ ), FN e PD ( $p = 0,033$ ), não apresentando diferença significativa com ILP, pois também apresenta os menores valores do índice assim como FN (Tabela 3).

O maior valor do índice Margalef em FN, também foi observado para morfotipos de colêmbolos na Região Leste de Santa Catarina (SANTOS et al., 2018). O valor do índice de Margalef inferior a 2,0, é considerado indicador de área com baixa diversidade (MAGURRAN, 2004; SANTOS et al., 2018). No caso do presente estudo, não foram observados valores

menores que 2 no inverno ou no verão. Sendo assim, ao observar o maior valor de Margalef em FN, não significa que há baixa diversidade nos demais usos estudados.

Tabela 2 - Média  $\pm$  desvio padrão dos índices de Simpson, Shannon, Margalef e Pielou das morfoespécies de Coleoptera no inverno em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) em quatro regiões do Estado de Santa Catarina.

Região	Uso	Simpson <sup>ns</sup>	Shannon <sup>ns</sup>	Margalef <sup>ns</sup>	Pielou <sup>ns</sup>
Leste	FN	0,85 $\pm$ 0,06	2,27 $\pm$ 0,28	3,73 $\pm$ 0,76	0,85 $\pm$ 0,09
Leste	ILP	0,84 $\pm$ 0,06	2,26 $\pm$ 0,27	3,82 $\pm$ 0,41	0,81 $\pm$ 0,11
Leste	PA	0,88 $\pm$ 0,03	2,45 $\pm$ 0,17	4,10 $\pm$ 0,44	0,87 $\pm$ 0,03
Leste	PD	0,85 $\pm$ 0,08	2,44 $\pm$ 0,22	4,54 $\pm$ 0,32	0,85 $\pm$ 0,10
Leste	RE	0,72 $\pm$ 0,12	1,64 $\pm$ 0,47	2,51 $\pm$ 0,71	0,74 $\pm$ 0,16
Oeste	FN	0,92 $\pm$ 0,01	2,75 $\pm$ 0,16	5,22 $\pm$ 0,67	0,91 $\pm$ 0,02
Oeste	ILP	0,89 $\pm$ 0,02	2,47 $\pm$ 0,23	4,25 $\pm$ 0,77	0,86 $\pm$ 0,05
Oeste	PA	0,86 $\pm$ 0,03	2,45 $\pm$ 0,15	4,57 $\pm$ 0,24	0,83 $\pm$ 0,06
Oeste	PD	0,84 $\pm$ 0,09	2,31 $\pm$ 0,48	4,08 $\pm$ 1,11	0,89 $\pm$ 0,05
Oeste	RE	0,88 $\pm$ 0,04	2,34 $\pm$ 0,31	3,78 $\pm$ 0,80	0,92 $\pm$ 0,03
Planalto	FN	0,84 $\pm$ 0,03	2,37 $\pm$ 0,02	4,30 $\pm$ 0,49	0,83 $\pm$ 0,04
Planalto	ILP	0,84 $\pm$ 0,01	2,19 $\pm$ 0,07	3,80 $\pm$ 0,44	0,85 $\pm$ 0,07
Planalto	PA	0,80 $\pm$ 0,12	2,01 $\pm$ 0,39	3,11 $\pm$ 0,69	0,86 $\pm$ 0,11
Planalto	PD	0,87 $\pm$ 0,04	2,32 $\pm$ 0,29	4,07 $\pm$ 0,76	0,92 $\pm$ 0,03
Planalto	RE	0,84 $\pm$ 0,02	2,07 $\pm$ 0,12	3,13 $\pm$ 0,37	0,90 $\pm$ 0,02
Sul	FN	0,85 $\pm$ 0,05	2,13 $\pm$ 0,38	3,29 $\pm$ 0,95	0,94 $\pm$ 0,03
Sul	ILP	0,88 $\pm$ 0,04	2,46 $\pm$ 0,30	4,23 $\pm$ 0,83	0,86 $\pm$ 0,03
Sul	PA	0,72 $\pm$ 0,25	2,08 $\pm$ 0,82	4,11 $\pm$ 1,32	0,72 $\pm$ 0,24
Sul	PD	0,66 $\pm$ 0,05	1,49 $\pm$ 0,07	2,27 $\pm$ 0,33	0,68 $\pm$ 0,11
Sul	RE	0,82 $\pm$ 0,02	1,91 $\pm$ 0,16	2,54 $\pm$ 0,39	0,90 $\pm$ 0,04

Diferenças não significativas de acordo com o teste Kruskal-Wallis,  $p > 0,05$  (<sup>ns</sup>).

Apesar de não terem sido encontradas diferenças significativas entre SUS de cada região, observaram-se, na região Leste, valores mais elevados de Simpson em FN e PA; Shannon e Margalef em FN; e Pielou em RE. No Oeste o valor mais elevado de Simpson ocorreu em PD; Shannon e Margalef em FN; Pielou em PD. No Planalto, o uso PA foi mais elevado para os índices de Simpson e Pielou; PD para Shannon; FN para Margalef. No Sul, Simpson foi mais elevado em PA, Shannon e Margalef em ILP e Pielou em RE (Tabela 3).

Os maiores valores de diversidade de Shannon em FN na região Oeste, no inverno e verão, corroboram com os resultados encontrados para a fauna geral do solo, coletada nas mesmas áreas e épocas por armadilhas de queda (BARTZ et al., 2014). Em adição, os valores mais elevados de Shannon no Planalto, no inverno, também foram verificados para a fauna edáfica da mesma região, coletada por TSBF (ROSA et al., 2015). Souza et al. (2016), também

observaram valores de diversidade de Shannon mais elevados para a fauna do solo em FN, na região Leste no verão. O índice de diversidade de Shannon geralmente varia de 1,5 (baixa diversidade) a 3,5 (alta diversidade) e raramente passa de 4 (MAGURRAN, 2004). Nesse sentido a maior parte dos usos apresentam valores acima de 1,5, com exceção do PD, da região Sul no período do inverno.

Os resultados apresentados, após observações no verão, para riqueza, abundância e diversidade, confirmam a hipótese (i), de que os sistemas de uso do solo e regiões interferem na abundância, riqueza e diversidade das morfoespécies de coleópteros do solo. Entretanto, essa diferença depende do tipo de manejo (i. e. há manejos que não diferem entre si) e da região (i. e. há regiões que não diferem entre si).

Tabela 3 - Média  $\pm$  desvio padrão dos índices de Simpson, Shannon, Margalef e Pielou das morfoespécies de Coleoptera no verão em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) em quatro regiões do Estado de Santa Catarina.

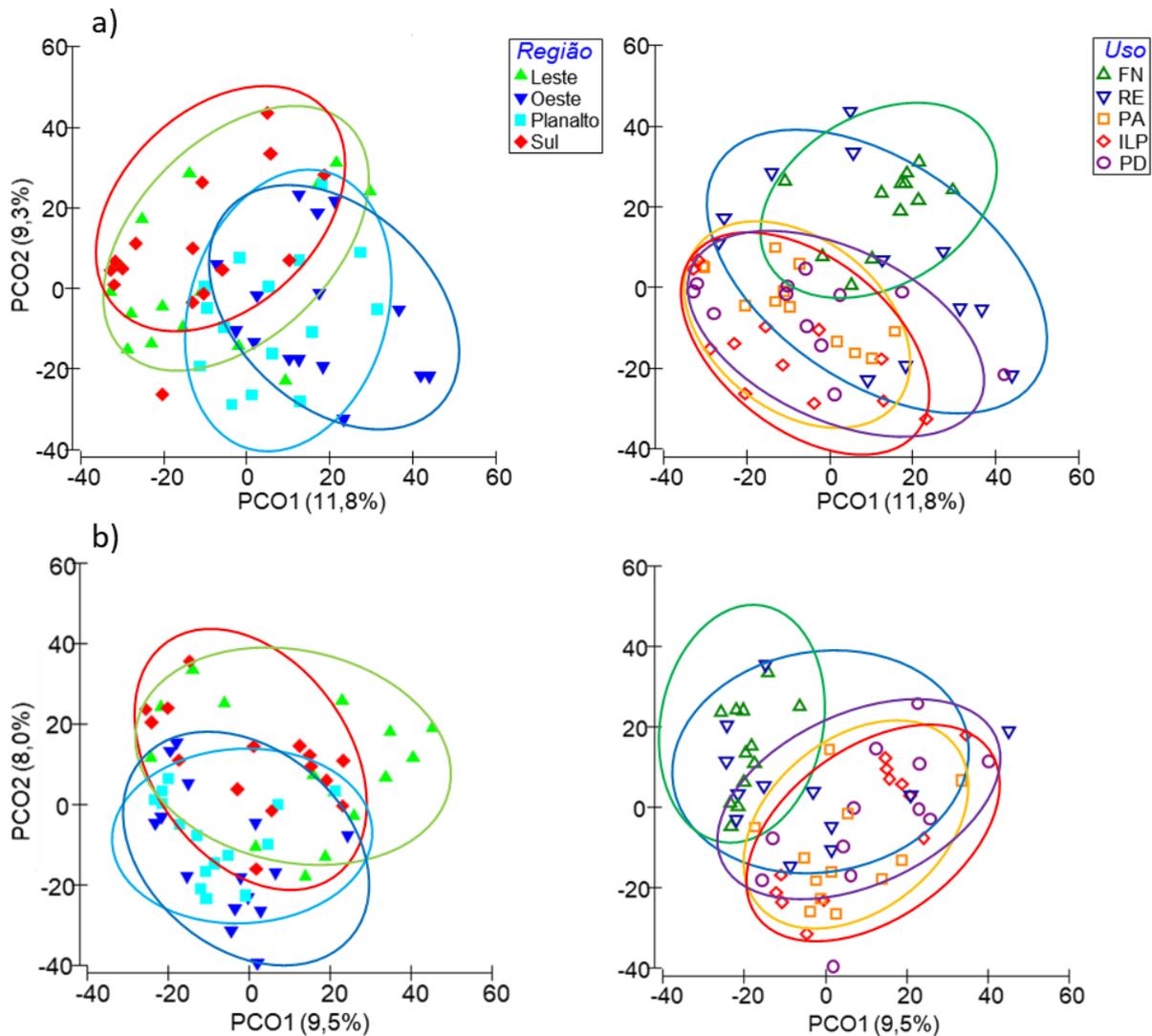
Região	Uso	Simpson <sup>ns</sup>	Shannon <sup>1</sup>	Margalef <sup>1,2</sup>	Pielou <sup>2</sup>
Leste	FN	0,85 $\pm$ 0,03	2,31 $\pm$ 0,17	4,15 $\pm$ 0,55	0,83 $\pm$ 0,02
Leste	ILP	0,82 $\pm$ 0,04	2,13 $\pm$ 0,18	3,52 $\pm$ 0,37	0,84 $\pm$ 0,04
Leste	PA	0,85 $\pm$ 0,06	2,26 $\pm$ 0,30	3,77 $\pm$ 0,69	0,91 $\pm$ 0,07
Leste	PD	0,84 $\pm$ 0,04	2,15 $\pm$ 0,27	3,34 $\pm$ 0,49	0,90 $\pm$ 0,01
Leste	RE	0,84 $\pm$ 0,01	1,99 $\pm$ 0,11	2,97 $\pm$ 0,30	0,92 $\pm$ 0,02
Oeste	FN	0,87 $\pm$ 0,04	2,66 $\pm$ 0,34	5,82 $\pm$ 1,23	0,80 $\pm$ 0,04
Oeste	ILP	0,81 $\pm$ 0,06	2,08 $\pm$ 0,34	3,55 $\pm$ 0,93	0,82 $\pm$ 0,08
Oeste	PA	0,88 $\pm$ 0,01	2,58 $\pm$ 0,13	5,06 $\pm$ 0,57	0,85 $\pm$ 0,00
Oeste	PD	0,89 $\pm$ 0,03	2,52 $\pm$ 0,19	4,31 $\pm$ 0,56	0,90 $\pm$ 0,02
Oeste	RE	0,79 $\pm$ 0,02	1,84 $\pm$ 0,16	2,94 $\pm$ 0,30	0,86 $\pm$ 0,09
Planalto	FN	0,81 $\pm$ 0,01	2,55 $\pm$ 0,05	6,76 $\pm$ 0,73	0,72 $\pm$ 0,02
Planalto	ILP	0,86 $\pm$ 0,03	2,28 $\pm$ 0,11	3,99 $\pm$ 0,06	0,82 $\pm$ 0,09
Planalto	PA	0,91 $\pm$ 0,01	2,56 $\pm$ 0,08	4,32 $\pm$ 0,29	0,94 $\pm$ 0,01
Planalto	PD	0,90 $\pm$ 0,02	2,62 $\pm$ 0,16	4,75 $\pm$ 0,47	0,88 $\pm$ 0,03
Planalto	RE	0,88 $\pm$ 0,04	2,56 $\pm$ 0,42	5,03 $\pm$ 1,58	0,91 $\pm$ 0,02
Sul	FN	0,85 $\pm$ 0,05	2,35 $\pm$ 0,33	4,14 $\pm$ 1,02	0,83 $\pm$ 0,06
Sul	ILP	0,86 $\pm$ 0,05	2,44 $\pm$ 0,24	4,49 $\pm$ 0,48	0,87 $\pm$ 0,04
Sul	PA	0,87 $\pm$ 0,03	2,37 $\pm$ 0,18	4,14 $\pm$ 0,52	0,87 $\pm$ 0,06
Sul	PD	0,75 $\pm$ 0,23	2,14 $\pm$ 0,79	4,00 $\pm$ 1,53	0,80 $\pm$ 0,21
Sul	RE	0,86 $\pm$ 0,04	2,27 $\pm$ 0,26	3,66 $\pm$ 0,90	0,88 $\pm$ 0,05

Diferença significativa entre os valores observados nas regiões Leste e Planalto de acordo com o teste Kruskal-Wallis ( $p \leq 0,05$ ) (<sup>1</sup>); diferença significativa entre os usos do solo independentemente de região de acordo com o teste Kruskal-Wallis ( $p \leq 0,05$ ) (<sup>2</sup>); não significativo (<sup>ns</sup>).

### 5.3.2 Distribuição biogeográfica e dependência espacial das morfoespécies de Coleoptera

Na PCoA realizada com base na matriz de similaridade de Bray-Curtis, para os coleópteros coletados no inverno, é possível observar que o eixo da coordenada principal 1 (PCO1) foi responsável por 11,8% da variação dos dados e a coordenada principal 2 (PCO2) por 9,3%, sendo que as regiões Leste e Sul ficaram mais posicionadas no lado esquerdo da ordenação e as regiões Planalto e Oeste no lado direito (Figura 4a). Em relação aos SUS, estes aparentam separação dos florestais (FN e RE) em relação aos demais (PA, ILP e PD).

Figura 4 - Análise de coordenadas principais (PCoA) utilizando o coeficiente de Bray-Curtis, com base na abundância das morfoespécies de Coleoptera, no inverno (a) e verão (b), por região e em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD) avaliados em Santa Catarina.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Na PCoA do verão, é possível observar que o eixo da PCO1 foi responsável por 9,5% da variação dos dados e a PCO2 por 8,0%, sendo que as regiões Leste e Sul, assim como no inverno, ficaram mais próximas entre si na ordenação e Planalto e Oeste apresentaram distribuição similar mas no canto esquerdo (Figura 4b). Nesse sentido, considerando as duas épocas de amostragem e apesar da baixa variação dos eixos da ordenação apresentados, pode-se perceber um padrão de dissimilaridade entre regiões que é analisado quanto a sua significância na PERMANOVA.

Em relação aos usos FN e RE, estes ficaram distribuídos no lado esquerdo do gráfico, já os sistemas PA, ILP e PD do lado direito. Essa separação dos SUS florestais pode ter ocorrido, por serem locais com vegetação, microclima e intensidade de uso do solo diferenciados. Niero e Hernández (2017), ao estudarem uma paisagem em Santa Catarina, também observaram maiores similaridades de assembleias de coleópteros (Scarabaeidae) entre os usos florestais. Sendo formado grupo distinto para os usos de pastagem e plantios agrícolas, de acordo com o índice de similaridade de Bray-Curtis.

De acordo com a análise PERMANOVA há diferença significativa da comunidade de coleópteros do solo entre as regiões estudadas ( $p = 0,001$ ), tanto no inverno quanto no verão, assim como entre os SUS dentro da região ( $p = 0,001$ ) (Apêndice A5).

Quando observadas as comparações aos pares entre regiões da PERMANOVA, no inverno, há diferenças significativa entre as comunidades de coleópteros em todas as combinações de pares de regiões exceto entre as regiões Leste e Sul (Tabela 4). A mesma condição ocorreu no verão, que além de não apresentar diferença significativa entre Leste e Sul também não demonstrou entre Oeste e Planalto.

Tabela 4 - Comparações aos pares entre regiões da PERMANOVA da comunidade de Coleoptera, no inverno e verão com base no coeficiente de Bray-Curtis para os dados de abundância transformados.

Regiões	Inverno		Verão	
	t	<i>p</i> (Monte-Carlo)	t	<i>p</i> (Monte-Carlo)
Leste, Oeste	1,413	0,035*	1,465	0,011*
Leste, Planalto	1,403	0,025*	1,438	0,024*
Leste, Sul	0,844	0,756	1,062	0,306
Oeste, Planalto	1,454	0,025*	1,182	0,18
Oeste, Sul	1,597	0,007*	1,368	0,036*
Planalto, Sul	1,371	0,036*	1,355	0,036*

Diferença significativa,  $p < 0,05$  (\*).

Essa similaridade entre as regiões Leste e Sul (Figura 4 e Tabela 4), pode ser explicada pela sua posição geográfica, as duas regiões são mais próximas do litoral, possuem a mesma formação florestal de Floresta Ombrófila Densa (FOD), com altitudes menores em relação ao nível do mar, ou seja, possuem características mais similares entre si do que com as regiões Planalto e Oeste. É possível verificar essas diferenças nos Apêndices A1 e A2.

Quando realizado teste *post hoc* aos pares para avaliar as diferenças entre os usos *nested* nas regiões, no inverno houve diferença significativa (Monte-Carlo,  $p < 0,05$ ) apenas na região Leste entre FN e PA ( $p=0,04$ ), FN e ILP ( $p=0,03$ ) e entre FN e PD ( $p=0,02$ ). No verão, houve diferença significativa apenas na região do Planalto entre FN e PD ( $p=0,04$ ).

Quanto a ocorrência das morfoespécies de coleópteros, estas ficaram distribuídas em 35 famílias (Apêndice A6). Poucas morfoespécies são de ocorrência generalizada ( $\geq 66\%$ ) nas quatro regiões juntas (Col. 29, Col. 79, Col. 68, Col. 36), ou seja, ocorreram em mais de 66% das áreas. Das morfoespécies frequentes (34% a 65%) nas regiões, a maior parte pertence a família Staphylinidae. Entretanto, quando observado o número de morfoespécies identificadas em todas as áreas apenas 21 tiveram ocorrência generalizada ou frequente, o restante foi de ocorrência rara (Apêndice A6).

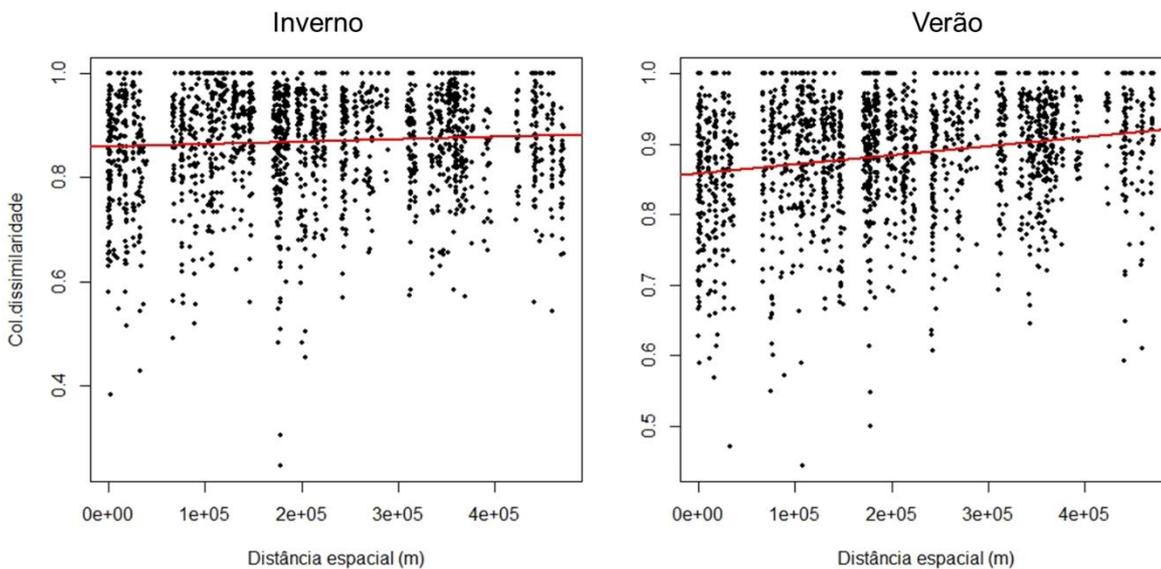
Das morfoespécies ocasionais ( $\leq 33\%$ ), na Col. 15 até a Col. 54 (observando a sequência do Apêndice A6, por exemplo Col. 15, 52, 26... Col. 54) a ocorrência foi de 20 a 33% das áreas (considerando as 4 regiões juntas), totalizando 40 morfoespécies; o restante é menos que 19% e a partir do Col. 198 até o último, totalizando 83 morfoespécies. A ocorrência fica ainda mais restrita, com menos de 5%, aparecendo apenas em uma, duas áreas ou uma ou duas regiões.

Ao observar os resultados da análise SIMPER, as morfoespécies que mais contribuíram para a dissimilaridade entre regiões ( $>3\%$ ) foram os Col. 29, Col. 79, Col. 68, Col. 36, Col. 8, Col. 62, Col.1 e Col. 71, sendo estes representantes das famílias Ptiliidae, Nitidulidae, Scarabaeidae e principalmente Staphylinidae (Apêndice A6). Portanto, percebe-se a importância da família Staphylinidae em todas as regiões. Portilho et al. (2011), destacaram essa família como a mais abundante ao avaliarem distintos usos do solo e a consideraram como potencial bioindicador da qualidade do solo.

Na Figura 5 é possível visualizar que o período do verão demonstra suave aumento da dissimilaridade da comunidade de coleópteros com o aumento da distância espacial, diferente do inverno. Essa condição foi verificada pelo teste de Mantel, onde o resultado encontrado para o inverno não foi significativo ( $r = 0,061$  e  $p = 0,072$ ). No verão, a correlação da distância espacial e a dissimilaridade da comunidade de coleópteros foi significativa ( $r = 0,207$  e  $p = 0,001$ ), sendo assim, há dependência espacial.

Além dos resultados do teste de Mantel para a correlação da dissimilaridade da comunidade dos coleópteros com a distância espacial, é possível verificar que houve correlações significativas com as variáveis químicas, físicas do solo, manejo e classe de solo, no inverno. Percebe-se também, dependência espacial dos atributos físicos ( $r = 0,122$ ,  $p = 0,007$ ) e classe de solo ( $r = 0,578$ ,  $p = 0,001$ ) (Apêndice A7).

Figura 5 - Relação entre a distância espacial e a dissimilaridade de morfoespécies de Coleoptera, no inverno e verão, independente do uso do solo, em Santa Catarina.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Ao observar o teste de Mantel Parcial, que avalia a correlação entre duas matrizes de dados condicionadas a uma terceira matriz, é possível verificar que a dissimilaridade da comunidade de coleópteros ainda apresenta correlação significativa com as variáveis físicas, químicas, classe de solo e manejo (agrotóxicos, calagem e animais de produção) mesmo tirando o efeito da distância espacial (Apêndice A7). Os valores médios das variáveis químicas, físicas e microbiológicas do solo estão demonstrados no Apêndice A9.

No verão, o teste de Mantel apresentou relações significativas da dissimilaridade dos coleópteros com as variáveis químicas, microbiológicas, classe de solo e manejo. Também é possível verificar que houve dependência espacial dos atributos microbiológicos e classe de solo. Ao analisar o teste de Mantel Parcial, observa-se que a dependência espacial da comunidade de coleópteros não é influenciada pelas variáveis químicas, físicas, microbiológicas, classe de solo e manejo, pois mesmo tirando o efeito dessas matrizes a relação da comunidade com a distância espacial continuou sendo significativa.

Entretanto, é possível perceber que a relação da dissimilaridade da comunidade de coleópteros com os atributos químicos do solo e manejo não é influenciada pela distância espacial, sendo ainda significativo mesmo após retirar o efeito espacial. Diferente das variáveis microbiológicas e classe de solo, que ao retirar o efeito da distância não demonstraram relação significativa (Apêndice A7).

Esses resultados confirmam a hipótese (ii), demonstrando que ocorreram dissimilaridades nas comunidades de coleópteros do solo entre as regiões de Santa Catarina (Leste, Sul, Planalto e Oeste). Além disso, foi observada dependência espacial no verão.

### 5.3.3 Relação da comunidade de Coleoptera com as variáveis ambientais

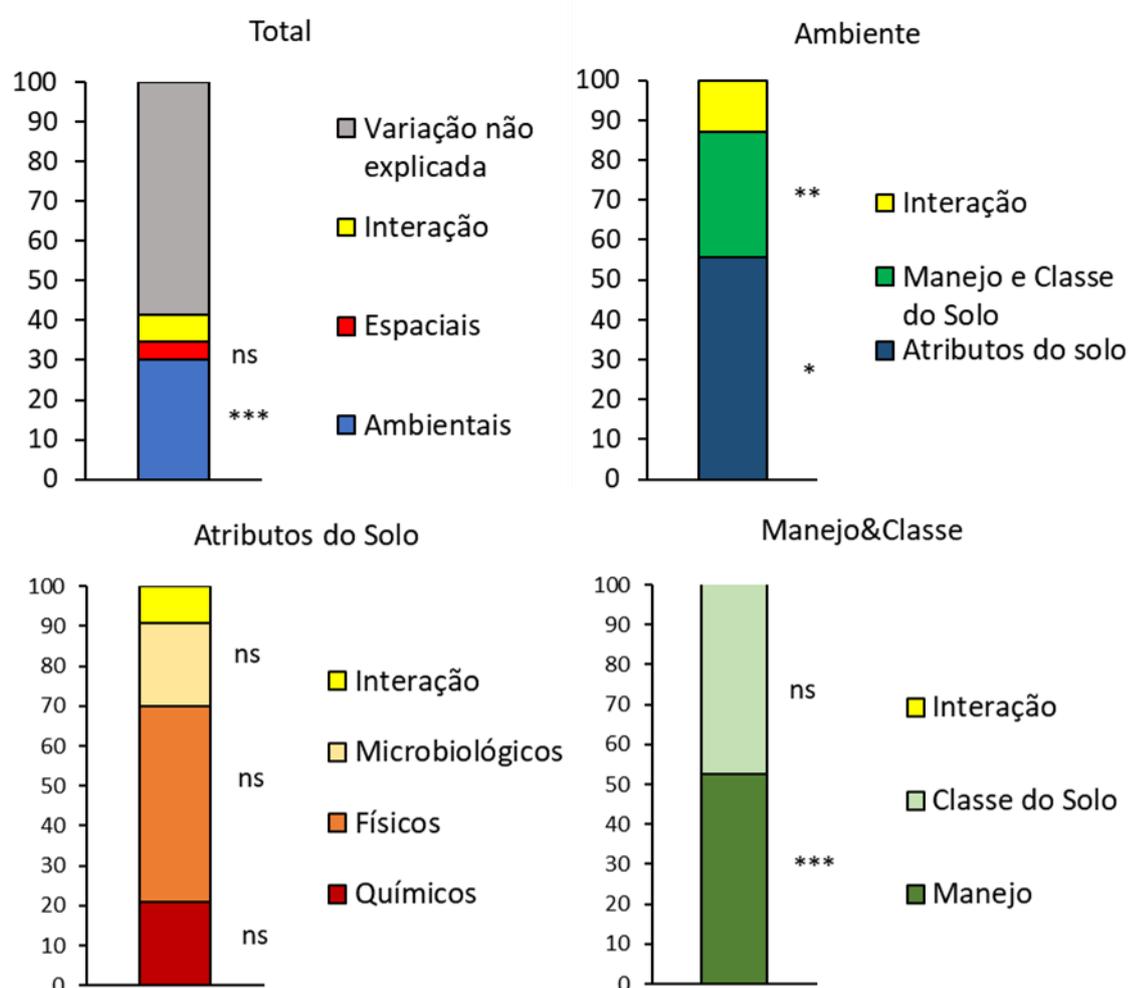
Para mensurar os efeitos das variáveis ambientais e espaciais significativas isoladamente, foi realizado o particionamento das variâncias (Figuras 6 e 7). No teste de Mantel Parcial (Apêndice A7), foi possível isolar algumas influências, mas a análise não possibilita condicionar o efeito além da terceira matriz de dados e não é possível perceber a proporção da variação dos dados. Isso é alcançado com a partição da variância da *dbRDA*.

De acordo com a partição das variâncias da *dbRDA*, no inverno (Figura 6), para o “Total”, as variáveis do ambiente e as variáveis espaciais juntas representam 41,35% da variação total dos dados ( $p \leq 0,002$ ). A fração que equivale apenas as variáveis “Ambientais” representa 30,19% da variação total, a fração que equivale apenas as variáveis “Espaciais” não foi significativa e representa 4,4%. A fração que indica a “Interação” entre as duas anteriores, representa 6,76% e o restante “Variação não explicada” pelas variáveis espaciais e ambientais, representa 58,65% da variação total dos dados da comunidade de Coleoptera. Observando apenas a parte do ambiente da fração total (Ambientais), a fração “Atributos do Solo” que são os químicos, físicos e microbiológicos do solo juntos, equivalem a 56% da variação. O “Manejo e Classe do Solo” que representa o uso de agrotóxicos e calagem, animais de produção e classes de solo (Argissolo, Latossolo e Nitossolo), engloba 32% e a fração da “Interação” entre estas, representa 13% da variação.

Quando verificada a variância apenas dos atributos do solo, os atributos “Químicos” representaram 21%, os “Físicos” 49%, os “Microbiológicos” 21%, mas nenhum destes conjuntos de atributos sozinhos apresentou relação significativa, apenas quando considerados em conjunto. Em relação ao “Manejo&Classe” do solo o “Manejo” representou 53% da variação e a “Classe de solo” 47%, mas apenas o manejo demonstrou relação significativa.

De acordo com a partição das variâncias da *dbRDA*, no verão, como representado na Figura 7, o “Total”, as variáveis do ambiente e as variáveis espaciais juntas representam 41,42% da variação total dos dados, sendo significativa ( $p \leq 0,002$ ). O resultado encontrado foi que a fração que equivale apenas as variáveis do “Ambiente” representa 31,48% da variação total, a fração que equivale apenas as variáveis “Espaciais” não foi significativa e representa 4,46%.

Figura 6 - Representação das frações (%) da partição das variâncias da *dbRDA* que explicam a variação na matriz de dados da comunidade de Coleoptera no inverno.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020. **Total** = Ambientais: Espaciais como covariável; Espaciais: Ambientais como covariável; Interação: Ambientais com Espaciais; Variação não explicada: Pelas variáveis Ambientais e Espaciais. **Ambiente** = Atributos do solo: Manejo&Classe de solo e Espaciais como covariáveis; Manejo e Classe de solo: Atributos do Solo e Espaciais como covariáveis; Interação: Atributos do Solo e Manejo&Classe; **Atributos do Solo** = Químicos: utilizando os físicos, microbiológicos, Manejo&Classe e espaciais como covariáveis; Físicos: químicos, microbiológicos, Manejo&Classe e espaciais como covariáveis; Microbiológicos: Químicos, físicos, Manejo&Classe e espaciais como covariáveis; Intereação: Químicos, físicos e microbiológicos; **Manejo&Classe** = Manejo: Atributos do solo, Classe de solo e espaciais como covariáveis; Classe de solo: Manejo, atributos do solo e espaciais como covariáveis; Interação: manejo e classe de solo; \* $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,002$ ; ns: não significativo pelo teste de Monte-Carlo.

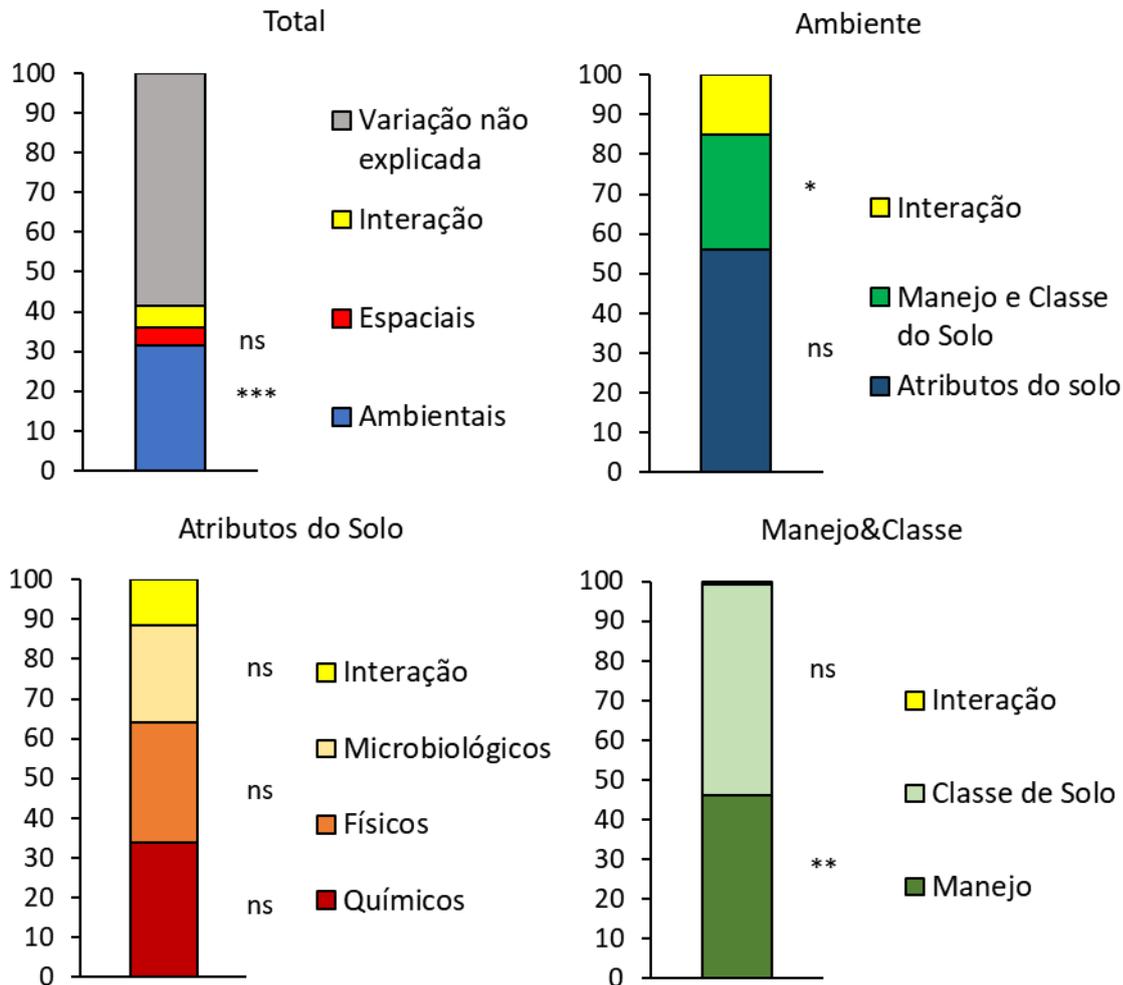
A fração que indica a “Interação” entre as duas anteriores, representa 5,48% e o restante “Variação não explicada” pelas variáveis espaciais e ambientais, representa 58,58% da variação total dos dados da comunidade de Coleoptera. Observando apenas a parte ambiental da fração total “Ambiente”, a fração “Atributos do Solo” que são as variáveis químicas, físicas e microbiológicas do solo, equivalem a 56% da variação, o “Manejo e Classe do Solo” que representa o uso de agrotóxicos e calagem, animais de produção e classes de solo (Argissolo, Latossolo e Nitossolo), é significativo e representa 29% da variação e a fração da “Interação” entre estas, representa 15% da variação (Figura 7).

Quando verificada a variância apenas dos atributos do solo, os “Químicos” representaram 34%, os “Físicos” 30%, os “Microbiológicos” 24%, mas nenhum destes conjuntos de atributos sozinhos apresentou relação significativa, nem quando em conjunto, diferente do que ocorreu no inverno. Em relação ao Manejo&Classe do solo o “Manejo” representou 46% da variação e a “Classe de solo” 53%, mas apenas o manejo demonstrou relação significativa (Figura 7).

Analisando os resultados para inverno e verão (Figuras 6 e 7) é possível perceber que há uma forte interação entre as variáveis espaciais, manejo e classe do solo com os atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo avaliados. Pois quando estes últimos, são totalmente particionados e isolados (utilizando variáveis espaciais, manejo e solo como covariáveis), demonstram uma porcentagem de influência não significativa na variação dos dados da comunidade. Complementando os resultados encontrados para os testes de Mantel no Apêndice A7. Além disso, o manejo quando isolado, demonstrou influência significativa na comunidade de coleópteros.

Nesse sentido, o manejo com uso de agrotóxicos, calagem e presença de animais de produção, nas duas épocas de coleta, provocam dissimilaridades na comunidade, independentemente da distância espacial, classe de solo e atributos do solo. No inverno, retirando o efeito espacial, a classe de solo e manejo, demonstrou que os atributos do solo têm influência significativa na variação dos dados. Entretanto isso não ocorreu quando isolados em químicos, físicos e microbiológicos, assim como no verão. Portanto, as dissimilaridades das comunidades de coleópteros do solo provocadas pelos atributos químicos, físicos e microbiológicos, interagem com (i. e. são dependentes) a distância espacial, manejo e classe de solo, no inverno e verão.

Figura 7 - Representação das frações (%) da partição das variâncias do *dbRDA* que explicam a variação na matriz de dados da comunidade de Coleoptera no verão.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020. **Total** = Ambientais: Espaciais como covariável; Espaciais: Ambientais como covariável; Interação: Ambientais com Espaciais; Variação não explicada: Pelas variáveis Ambientais e Espaciais. **Ambiente** = Atributos do solo: Manejo&Classe de solo e Espaciais como covariáveis; Manejo e Classe de solo: Atributos do Solo e Espaciais como covariáveis; Interação: Atributos do Solo e Manejo&Classe; **Atributos do Solo** = Químicos: utilizando os físicos, microbiológicos, Manejo&Classe e espaciais como covariáveis; Físicos: químicos, microbiológicos, Manejo&Classe e espaciais como covariáveis; Microbiológicos: Químicos, físicos, Manejo&Classe e espaciais como covariáveis; Intereação: Químicos, físicos e microbiológicos; **Manejo&Classe** = Manejo: Atributos do solo, Classe de solo e espaciais como covariáveis; Classe de solo: Manejo, atributos do solo e espaciais como covariáveis; Interação: manejo e classe de solo; \* $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,002$ ; ns: não significativo pelo teste de Monte-Carlo.

A classe de solo, assim como o manejo, demonstrou ser um importante fator relacionado as mudanças na comunidade de morfoespécies de coleópteros. Os coleópteros, juntamente com outros organismos da fauna edáfica, são um importante componente na formação do solo, devido sua atividade na bioturbação, seleção de partículas, deposição de excretas, construção de galerias, transporte de matéria orgânica (BROWN et al., 2015). Os teores de areia, argila, matéria orgânica, profundidade, atributos físicos e químicos de cada classe de solo, podem influenciar as comunidades que habitam o solo.

Os Argissolos são conhecidos pelo seu desenvolvimento mais avançado, argila de baixa atividade e baixa saturação por bases. Os Latossolos são solos bastante intemperizados, com evolução muito avançada e profundos. O Nitossolos são solos minerais bastante argilosos, com 350 g Kg<sup>-1</sup> ou mais de argila, possuindo argila de atividade baixa (SANTOS et al., 2013). Essas condições e a variabilidade dos atributos, propriedades e processos pedogenéticos dos diferentes solos em Santa Catarina, demonstram ser determinantes para a distribuição dos coleópteros do solo.

De acordo com o estudo de Ceola et al. (2015), que avaliou a distribuição dos Fungos Micorrízicos Arbusculares nas mesmas regiões de Santa Catarina, as classes de solo também apresentaram relação significativas com esses organismos. Nesse sentido ficou evidente a influência das classes de solo, tanto para os microorganismos quanto para a fauna invertebrada do solo, que são diferentes entre as regiões do Estado (Apêndice A1).

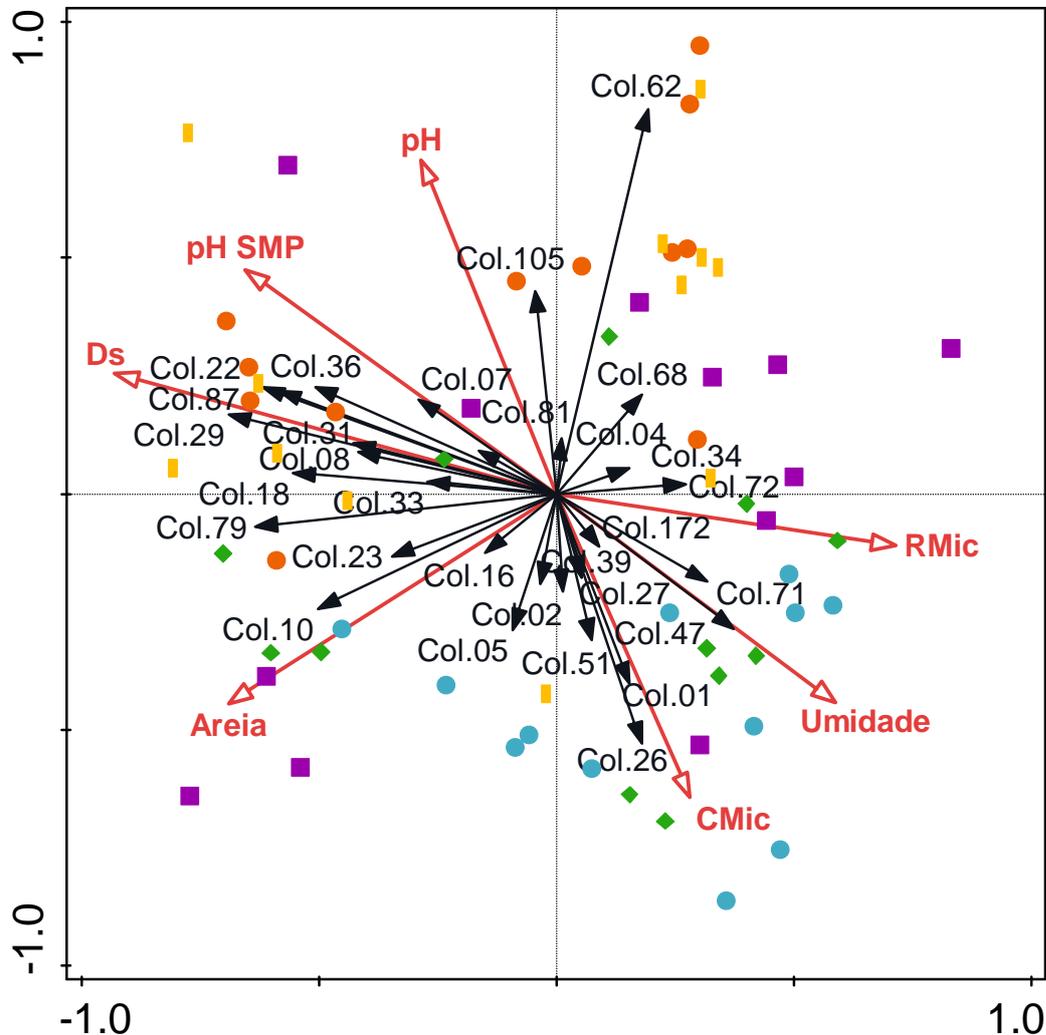
Os resultados obtidos para a relação da dissimilaridade da comunidade de coleópteros com os atributos do solo, sem retirar o efeito espacial, do manejo e classe de solo, são demonstrados abaixo nos gráficos da *dbRDA*. No inverno, foram indicadas as seguintes variáveis explicativas significativas: pH, Ds, Areia, pH SMP, RMic, Umidade e CMic (Figura 8). Esses atributos explicam 21,7% da variação total (permutações de Monte Carlo,  $F = 2,05$  e  $p = 0,002$ ), sendo que 28,9% e 21,2% desta variabilidade é explicada pelos eixos 1 e 2, respectivamente.

Os resultados obtidos na *dbRDA*, no verão, indicam como variáveis explicativas significativas o Mg, COT, Macro, Ca/Mg, Ds e CMic. Esses atributos explicam 17,9% da variação total (permutações de Monte Carlo,  $F = 2,05$  e  $p = 0,002$ ), sendo que 31,8% e 22,6% desta variabilidade é explicada pelos eixos 1 e 2 (Figura 9).

Os gráficos da *dbRDA*, tanto do inverno quanto do verão demonstram que os usos do solo agrícolas ILP e PD ficaram posicionados de forma diferente na ordenação quando comparados com FN, RE e PA e mais associados aos atributos químicos, assim como a Ds. Essa condição está relacionada com o histórico de manejo das áreas agrícolas, a adubação e calagem realizadas nesses locais e maior intensificação antrópica de uso (Apêndice A2).

A calagem contribui de forma decisiva para o aumento dos valores de pH, Ca e Mg, nos sistemas ILP e PD, podendo ser uma condição favorável para algumas morfoespécies de coleópteros. Além disso, pode ocorrer compactação e aumentar os valores de densidade, principalmente decorrente do trânsito de máquinas e implementos agrícolas nesses usos. Somado a isso, dependendo da classe de solo e teor de argila, pode resultar em maior ou menor adensamento do solo (SILVEIRA et al., 2008).

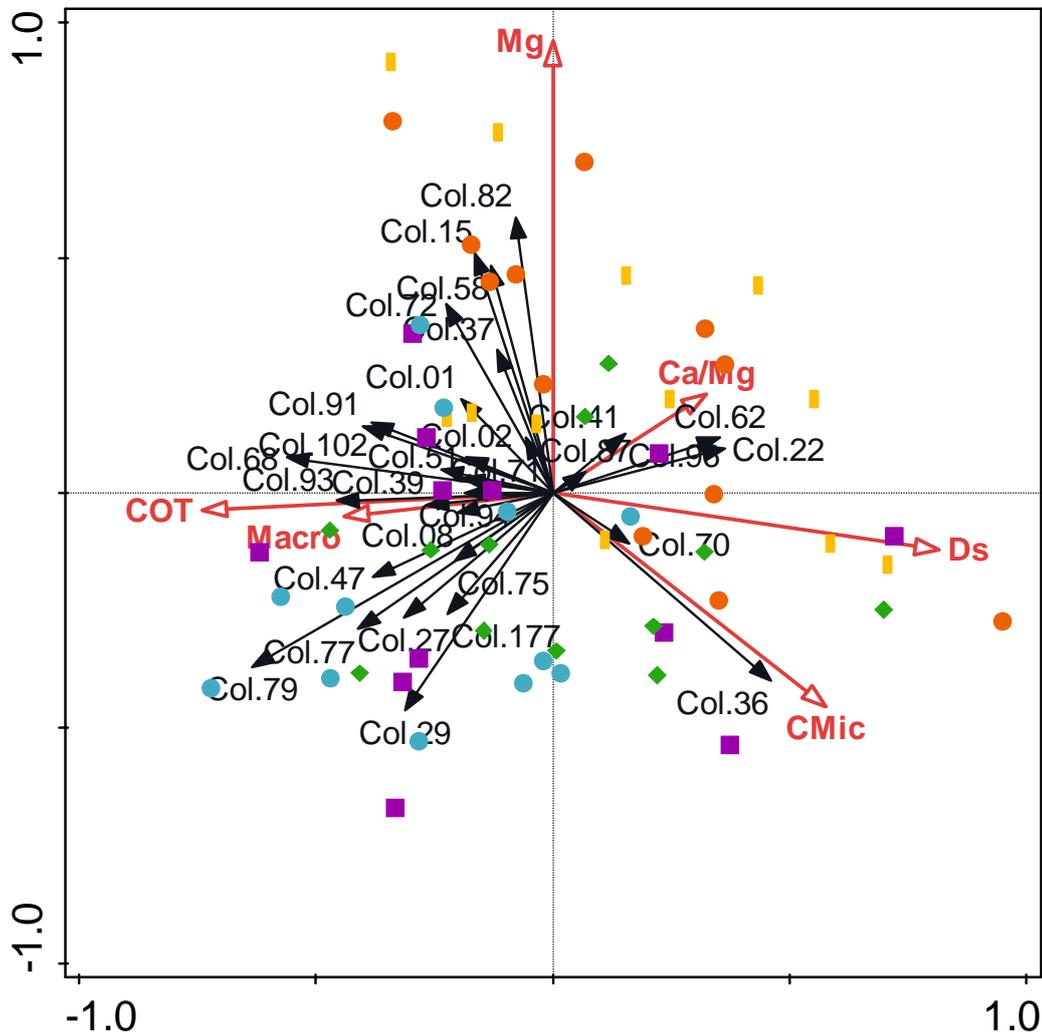
Figura 8 - Análise de Redundância baseada na distância (*dbRDA*) da comunidade de Coleoptera e as variáveis ambientais explicativas (atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo) no inverno, no Estado de Santa Catarina.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020. Densidade do solo (Ds); carbono da biomassa microbiana (CMic); respiração basal microbiana (RMic); floresta nativa (●); reflorestamento de eucalipto (■); pastagem (◆); integração lavoura-pecuária (■); plantio direto (●).

Nesse sentido, a maior densidade do solo, observada nas Figuras 8 e 9, pode não ser prejudicial para a atividade dos coleópteros no solo. Apesar de aumentar os valores desse atributo próximo as amostras de PD e ILP na ordenação, não indica que esses valores sejam críticos (Apêndice A9). Sua variação pode estar relacionada com a classe de solo e sua granulometria em cada região; e não significar um problema para as morfoespécies que utilizam os poros do solo.

Figura 9 - Análise de Redundância baseada na distância (*dbRDA*) da comunidade de Coleoptera e as variáveis ambientais explicativas (atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo) no verão, no Estado de Santa Catarina.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020. Densidade do solo (Ds); carbono da biomassa microbiana (CMic); respiração basal microbiana (RMic); floresta nativa (●); reforestamento de eucalipto (■); pastagem (◆); integração lavoura-pecuária (●).

Estudos recentes têm demonstrado a relação dos coleópteros com os atributos químicos e físicos do solo. Bernardes et al. (2020), avaliaram famílias, subfamílias e gêneros de Coleoptera edáficos em sistemas de uso e manejo do solo na região do Cerrado Brasileiro. Esses autores verificaram que o pH foi a propriedade que mais explicou a presença de *taxons* de coleópteros do solo, demonstrando que alterações nos valores desse atributo refletem a ocorrência e abundância de grupos. Neste mesmo estudo, também foram verificadas relações significativas dos coleópteros com outras variáveis aqui indicadas, como a densidade do solo e a macroporosidade.

Farias e Hernández (2017) demonstraram a relação positiva de espécies de coleópteros (Scarabaeidae) com o conteúdo de matéria orgânica do solo e areia, em Santa Catarina. Portilho et al. (2011), em estudo conduzido no Mato Grosso do Sul, encontraram a mesma relação, porém com famílias de Coleoptera do solo (Staphylinidae, Chrysomelidae e Carabidae). Corroborando com os resultados encontrados no presente capítulo.

Os resultados encontrados na partição das variâncias da *dbRDA*, demonstrados graficamente, confirmam a hipótese (iii), que as variáveis ambientais (atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo, classe de solo e manejo) e espaciais, interferem nos padrões de distribuição dos coleópteros.

### 5.3.4 Coleópteros indicadores dos usos do solo em Santa Catarina

De acordo com os resultados da análise IndVal, foram encontradas doze espécies indicadoras no inverno ( $p \leq 0,05$ ), na região Leste foram duas morfoespécies da família Staphylinidae para FN (Col. 138 e Col. 26) e uma Nitidulidae (Col. 68). Duas morfoespécies da família Staphylinidae, indicadoras do sistema ILP (Col. 87 e Col. 22) e uma para PA (Col. 01); e uma indicadora de PD da família Chrysomelidae (Col. 115) (Tabela 5). As morfoespécies indicadoras podem ser visualizadas no Apêndice A8.

Na região Oeste o indicador de FN (Col. 26), sendo verificado também para a região Leste; no uso ILP ocorreram dois indicadores das famílias Carabidae (Col. 105) e Tenebrionidae (Col. 53); em PA foi uma morfoespécie de Histeridae (Col. 69) e outra Staphylinidae (Col. 1), sendo que está última também foi observada para este sistema no Leste. No Sul ocorreram apenas três indicadores, um da família Staphylinidae para ILP (Col. 31); o Col.1 novamente para PA e um Scarabaeidae (Col. 5). No Planalto verificou-se um indicador para ILP da família Carabidae (Col. 105) (Tabela 5).

No verão, foram identificadas três morfoespécies indicadoras para a região Leste, sendo das famílias Curculionidae (Col. 149) e Staphylinidae (Col. 79) para FN e Scarabaeidae (Col. 5) para PA. No Oeste ocorreram seis indicadoras da família Staphylinidae para FN (Col. 27, 77, 36, 93, 79 e 91); um Chrysomelidae indicador de PA (Col. 78); duas morfoespécies indicadoras de PD das famílias Anthicidae (Col. 82) e Staphylinidae (Col. 8). No Sul foi um indicador Staphylinidae para FN (Col. 79) e outro para PA (Col. 1); uma morfoespécie Chrysomelidae indicadora de ILP (Col. 70) (Tabela 6).

Tabela 5 - Espécies indicadoras dos sistemas floresta nativa (FN), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD) em Santa Catarina, no inverno, de acordo com a análise IndVal ( $p \leq 0,05$ ).

<b>Região</b>	<b>Morfoespécie</b>	<b>Família</b>	<b>Uso</b>	<b>IndVal</b>	<b><i>p value</i></b>
Leste	Col. 138	Staphylinidae	FN	1,000	0,003
	Col.68	Nitidulidae	FN	0,926	0,017
	Col. 26	Staphylinidae	FN	0,727	0,027
	Col. 87	Staphylinidae	ILP	0,789	0,035
	Col. 22	Staphylinidae	ILP	0,682	0,012
	Col. 1	Staphylinidae	PA	0,760	0,018
	Col. 115	Chrysomelidae	PD	1,000	0,017
Oeste	Col. 26	Staphylinidae	FN	0,875	0,034
	Col. 105	Carabidae	ILP	1,000	0,013
	Col.53	Tenebrionidae	ILP	0,857	0,03
	Col. 69	Histeridae	PA	0,917	0,011
	Col. 1	Staphylinidae	PA	0,833	0,033
Sul	Col. 31	Staphylinidae	ILP	1,000	0,013
	Col. 1	Staphylinidae	PA	0,963	0,012
	Col. 5	Scarabaeidae	PA	0,857	0,038
Planalto	Col. 105	Carabidae	ILP	1,000	0,014

Na região do Planalto apareceram sete indicadores de FN, sendo seis Staphylinidae (Col. 52, 51, 100, 42, 27, 79) e um Ptilodactylidae (Col. 107); uma morfoespécie da família Carabidae para ILP (Col. 150) e outra para PD (Col. 23). Nesse sentido, percebe-se que as morfoespécies indicadoras são diferentes dependendo da região e época de coleta com algumas exceções (Tabela 6).

É importante destacar que o Col. 79, da família Staphylinidae, foi indicador de FN nas quatro regiões (Tabela 6). Além disso, é possível perceber que a maioria das espécies indicadoras tanto no inverno quanto no verão são desta mesma família. Além desta, Carabidae, Chrysomelidae e Scarabaeidae também apresentaram mais de um indicador.

As famílias Staphylinidae, Carabidae e Scarabaeidae incluem em sua maioria, espécies predadoras, detritívoras ou saprófagas. Entretanto, Chrysomelidae é conhecida por incluir várias espécies fitófagas de importância agrícola, por serem pragas em culturas agrícolas (GALLO et al., 2002).

Portilho et al. (2011), ao estudarem diferentes usos do solo, também evidenciaram o potencial bioindicador da família Staphylinidae. Pompeo et al. (2016), ao estudarem esses mesmos SUS no Planalto, já haviam observado a participação importante dessa família em FN e destacaram a necessidade da continuidade dos estudos para verificar sua capacidade como indicadora de sistemas florestais.

Tabela 6 - Espécies indicadoras dos sistemas floresta Nativa (FN), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), em Santa Catarina, no verão, de acordo com a análise IndVal ( $p \leq 0,05$ ).

Região	Morfoespécie	Família	Uso	IndVal	p value
Leste	Col. 149	Curculionidae	FN	1,000	0,008
	Col. 79	Staphylinidae	FN	0,788	0,012
	Col. 5	Scarabaeidae	PA	1,000	0,013
Oeste	Col. 27	Staphylinidae	FN	0,909	0,008
	Col. 77	Staphylinidae	FN	0,845	0,014
	Col. 36	Staphylinidae	FN	0,823	0,018
	Col. 93	Scarabaeidae	FN	0,729	0,041
	Col. 79	Staphylinidae	FN	0,667	0,009
	Col. 91	Staphylinidae	FN	0,565	0,029
	Col. 78	Chrysomelidae	PA	0,833	0,026
	Col. 82	Anthicidae	PD	0,7	0,026
	Col. 8	Staphylinidae	PD	0,667	0,037
Sul	Col. 79	Staphylinidae	FN	0,661	0,014
	Col. 70	Chrysomelidae	ILP	0,645	0,018
	Col. 1	Staphylinidae	PA	0,667	0,048
Planalto	Col. 52	Staphylinidae	FN	1,000	0,012
	Col. 51	Staphylinidae	FN	0,895	0,026
	Col. 100	Staphylinidae	FN	0,875	0,011
	Col. 42	Staphylinidae	FN	0,778	0,037
	Col. 107	Ptilodactylidae	FN	0,769	0,01
	Col. 27	Staphylinidae	FN	0,692	0,042
	Col. 79	Staphylinidae	FN	0,582	0,039
	Col. 150	Carabidae	ILP	0,800	0,046
	Col. 23	Carabidae	PD	1,000	0,007

Contudo, quanto maior o valor IndVal, melhor e mais confiável é o indicador. Leach et al. (2013), ao avaliarem morfoespécies de formigas e coleópteros do solo em pastagens e florestas no Leste da Austrália, apontaram que a taxa indicadora IndVal menor que 70% pode não ser confiável. No inverno apenas uma morfoespécie apresentou taxa indicadora menor que 70%, na região Leste (Col. 22, IndVal 68%) (Tabela 7). No verão, apesar de serem observadas mais morfoespécies de coleópteros indicadoras, ocorreu maior número com taxa indicadora abaixo de 70%, nas regiões Oeste (Col. 79, 91 e 8), todas as do Sul e no Planalto (Col. 27 e 79).

Entretanto todas as morfoespécies apresentaram taxa indicadora acima de 56%. Os resultados encontrados para o teste IndVal, confirmam a hipótese (iv), que existem morfoespécies de coleópteros indicadoras dos usos do solo nas quatro regiões estudadas.

## 5.4 CONCLUSÃO

As abundâncias, riqueza, índices de diversidade e ocorrência das morfoespécies de coleópteros do solo variaram, entre as regiões do Estado de Santa Catarina e entre os usos do solo. As diferenças são mais evidentes principalmente no verão do que no inverno, onde a região do Planalto e a floresta nativa apresentaram, maiores abundâncias e riqueza.

A distribuição biogeográfica dos coleópteros do solo varia ao longo das quatro regiões estudadas. As regiões Leste e Sul são mais parecidas entre si, assim como Planalto e Oeste, ou seja, as duas regiões são similares em relação a comunidade de morfoespécies de Coleoptera do solo.

Há dependência espacial na dissimilaridade da comunidade de Coleoptera. Os atributos do solo apresentam relação significativa com a distribuição desses invertebrados edáficos, são eles pH, pH SMP, Ca/Mg, Mg, COT, Areia, Umidade, Macro, Ds, CMic e RMic. Todavia, essa contribuição interage com as variáveis de manejo, classe de solo e espaciais. As variáveis químicas, físicas e microbiológicas do solo, quando completamente particionadas não contribuem de forma significativa para explicar a variação dos dados da comunidade de Coleoptera.

As morfoespécies indicadoras do uso floresta nativa, pertencem em grande maioria a família Staphylinidae que foi evidenciada em todas as regiões. Outras que também tiveram destaque foram morfoespécies da família Carabidae para integração lavoura-pecuária e Scarabaeidae indicadora de pastagem. Nesse sentido, a família Staphylinidae pode ser considerada como potencial bioindicadora para áreas de floresta nativa em Santa Catarina e utilizada em futuros estudos de monitoramento.

## REFERÊNCIAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Eds.) **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. 576p.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical Soil Biology and Fertility: A handbook of methods**. Wallingford: C-A-B International, 1993. 265p.

ANDERSON, T.H. Physiological analysis of microbial communities in soil: applications and limitations. In: RITZ, K.D.; GILLER, K.E. (Eds.). **Beyond the biomass**. London: British Society of Soil Science, 1994. p. 67-76.

BERNARDES, A. C. C. et al. Abundance and diversity of beetles (Insecta: Coleoptera) in land use and management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, e0190183, 2020.

BARETTA, D. et al. Soil fauna and its relation with environmental variables in soil management systems. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 871–879, 2014.

BARRAGÁN, F. et al. The impact of grazing on dung beetle diversity depends on both biogeographical and ecological context. **Journal of Biogeography**, v. 41, n. 10, p. 1991–2002, 2014.

BARRETTO, J. W.; MEDINA, C. A.C.; ESCOBAR, F. Annual Abundance and Population Structure of Two Dung Beetle Species in a Human-Modified Landscape. **Insects**, v. 10, n. 1, p. 2, 2019.

BARTZ, M. L. C. et al. 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.

BASELGA, A. et al. Dispersal ability modulates the strength of the latitudinal richness gradient in European beetles. **Global Ecology and Biogeography**, v. 21, n. 11, p. 1106–1113, 2012.

BERNARDES, A. C. C. et al. Abundance and diversity of beetles (Insecta: Coleoptera) in land use and management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, e0190183, 2020.

BROWN, G. G. et al. Biodiversidade da Fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: PARRON, L. M. et al. (Ed.). **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: EMBRAPA, 2015. p. 113–154.

BRUSSAARD L. et al. Biogeography and Phylogenetic Community Structure of Soil Invertebrate Ecosystem Engineers: Global to Local Patterns, Implications for Ecosystem Functioning and Services and Global Environmental Change Impacts. In: WALL, D. H. (Ed.). **Soil Ecology and Ecosystem Services**. Oxford: Oxford University Press, 2012. p. 201-232.

BUGGUIDE. **Identification, Images, and Information for Insects, Spiders and their Kin for the United States and Canada**. Iowa: Iowa State University, Department of entomology, 2003-2016. Disponível em: < <http://bugguide.net/node/view/15740>>. Acesso em: abr. 2020.

CABRERO-SAÑUDO, F. J.; LOBO, J. M. Biogeography of Aphodiinae dung beetles based on the regional composition and distribution patterns of genera. **Journal of Biogeography**, v. 36, n. 8, p. 1474-1492, 2009.

CAJAIBA, R. L. et al. Does the composition of Scarabaeidae (Coleoptera) communities reflect the extent of land use changes in the Brazilian Amazon? **Ecological Indicators**, v. 74, p. 285–294, 2017.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 777-783, 1992.

CASARI, A. S.; IDE S. Coleoptera. In: RAFAEL, J. Á. Et al. (Ed.). *Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia*. Ribeirão Preto: Holos; 2012.

CEOLA, G. **Biogeografia e diversidade de Fungos Micorrízicos Arbusculares em cenários contrastantes de uso do solo e de regime hídrico**. 2015. 164 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2015.

CHEN, H. **VennDiagram**: Generate High-Resolution Venn and Euler Plots. R package version 1.6.20. <https://CRAN.R-project.org/package=VennDiagram>. 2018.

CIVIDANES, F. J. et al. Edge effects on carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) between forest fragments and agricultural fields in south-east Brazil. **Austral Entomology**, v. 57, n. 1, p. 9–16, 2018.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Solos; 1997.

CLARKE, K. R.; GORLEY, R.N. **PRIMER**: Getting started with v6. Plymouth: PRIMER-E Lta. 2005. p.12.

COLEOPTERA NEOTROPICAL. **Famílias**. Juan Enrique Barriga – Tuñón. Los Niches. Curicó, Chile. 2009. Disponível em: < <http://www.coleoptera-neotropical.org/paginaprincipalhome.html>> Acesso em: abr. 2020.

DAVIS, A. L. V.; SCHOLTZ, C. H. Dung beetle conservation biogeography in southern Africa: current challenges and potential effects of climatic change. **Biodiversity and Conservation**, v. 29, n. 3, p. 667-693, 2020.

ESALQ, **Museu de entomologia**. São Paulo: ESALQ – USP, 2004. Disponível em: <<http://www.me.esalq.usp.br/>>. Acesso em: abr. 2020.

FARIAS, P. M. DE; HERNÁNDEZ, M. I. M. Dung beetles associated with agroecosystems of southern Brazil: Relationship with soil properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1–13, 2017.

FRANÇA, F. et al. Do space-for-time assessments underestimate the impacts of logging on tropical biodiversity? An Amazonian case study using dung beetles. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 4, p. 1098–1105, 2016.

GALLO, D. et al. **Entomologia agrícola**. v. 10. Piracicaba: FEALQ (Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz). 2002. 920 p.

GARLET, J. et al. Fauna de Coleoptera Edáfica em Eucalipto sob Diferentes Sistemas de Controle Químico da Matocompetição. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 239–248, 2015.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 383-411.

GIBB, H. et al. Does wing morphology affect recolonization of restored farmland by ground-dwelling beetles? **Restoration Ecology**, v. 25, n. 2, p. 234–242, 2017.

GÓMEZ-RODRÍGUEZ, C.; FREIJEIRO, A.; BASELGA, A. Dispersal and ecological traits explain differences in beta diversity patterns of European beetles. **Journal of Biogeography**, v. 42, n. 8, p. 1526–1537, 2015.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RAYAN, P. D. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, vol. 4, n. 1, p. 9, 2019.

HOMBURG, K. et al. Where have all the beetles gone? Long-term study reveals carabid species decline in a nature reserve in Northern Germany. **Insect Conservation and Diversity**, v. 12, n. 4, p. 268-277, 2019.

- HUMPHRIES, C. J. Form, space and time; which comes first? **Journal of Biogeography**, v. 27, n. 1, p. 11–15, 2000.
- KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregation. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy; 1965. p. 499-510.
- LEACH, E. et al. Potential of ants and beetles as indicators of rainforest restoration: characterising pasture and rainforest remnants as reference habitats. **Ecological Management & Restoration**, v. 14, n. 3, p. 202-209, 2013.
- LIMA, A. C. **Insetos do Brasil**. Coleópteros 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> parte. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Agronomia; 1952–55.
- MAGURRAN, A.E. **Measuring biological diversity**. Oxford: Blackwell Publishing; 2004. 256p.
- MARINONI, R. C.; GANHO, N. G. Fauna de Coleoptera no Parque Estadual de Vila Velha, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. Abundância e riqueza das famílias capturadas através de armadilhas de solo. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 20, n. 4, p. 737–744, 2003.
- MONNÉ, M. L.; COSTA, C. 2018. **Coleoptera in Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil**. PNUD. Disponível em: <<http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/223>>. Acesso em: abr. 2020.
- NICHOLS, E. et al. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. **Biological Conservation**, v. 141, p. 1461–1474, 2008.
- NIERO, M. M.; HERNÁNDEZ, M. I. M. Influência da paisagem nas assembleias de Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) em um ambiente agrícola no sul de Santa Catarina. **Biotemas**, v. 30, n. 3, p. 37–48, 2017.
- NG, K. et al. Contrasting beetle assemblage responses to cultivated farmlands and native woodlands in a dynamic agricultural landscape. **Ecosphere**, v. 8, n. 12, 2017.
- NG, K. et al. Disentangling the effects of farmland use, habitat edges, and vegetation structure on ground beetle morphological traits. **Oecologia**, v. 188, n. 3, p. 645-657, 2018.
- OKSANEN, F. J. et al. **vegan: Community Ecology Package**. R package version 2.5-6. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>. 2019.

OLIVER, I.; BEATTIE, A. J. Invertebrate morphospecies as surrogates for species: A case study. **Conservation Biology**, v. 10, n. 1, p. 99–109, 1996.

POMPEO, P. N. **Diversidade de morfotipos e famílias de Coleoptera em sistemas agrícolas e florestais do Planalto Catarinense**. 2016. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2016.

POMPEO, P. N. et al. Coleoptera Diversity and Soil Properties in Land Use Systems. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 27, n. 3, e20180068, 2020.

POMPEO, P. N. et al. Diversidade de Coleoptera (Arthropoda: Insecta) e atributos edáficos em sistemas de uso do solo no Planalto Catarinense. **Scientia Agraria**, v. 17, n. 1, p. 16–28, 2016.

POMPEO, P. N. et al. Morphological diversity of coleoptera (Arthropoda: Insecta) in agriculture and forest systems. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 41, p. e0160433, 2017.

PORTILHO, I. I. R. et al. Fauna invertebrada e atributos físicos e químicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1310–1320, 2011.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 2020.

ROSA, M. G. et al. Diversity of soil spiders in land use and management systems in Santa Catarina, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 19, n. 2, 2019.

ROSA, M. G. et al. 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.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353 p.

SANTOS, M. A. B. et al. Morphological Diversity of Springtails in Land Use Systems. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 42, p. e0170277, 2018.

SILVEIRA, P. M. et al. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um Latossolo. **Bioscience Journal**, v. 24, n. 3, 2008.

SOUZA, S. T. et al. Abundance and diversity of soil macrofauna in native forest, eucalyptus plantations, perennial pasture, integrated crop-livestock, and no-tillage cropping. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 40, p. 1–14, 2016.

STATSOFT, Inc. **STATISTICA (data analysis software system), version 10**.  
www.statsoft.com. 2011.

STORK, N. E. How Many Species of Insects and Other Terrestrial Arthropods Are There on Earth? **Annual review of entomology**, v. 63, p. 31-45, 2018.

ter BRAAK C.J.F.; ŠMILAUER P. **Canoco reference manual and user's guide: software for ordination, version 5.0**. Ithaca: Microcomputer Power, 2012. 496 p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. In: AVAREZ, V.H. et al. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2. p. 195-276.

TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. F. **Estudo dos insetos**. 2nd ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

TSENG, M.; PARI, S. S. Body size explains interspecific variation in size–latitude relationships in geographically widespread beetle species. **Ecological entomology**, v. 44, n. 1, p. 151-156, 2019.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 703–707, 1987.

WERENKRAUT, Victoria; RUGGIERO, Adriana. The richness and abundance of epigeaic mountain beetles in north-western Patagonia, Argentina: assessment of patterns and environmental correlates. **Journal of biogeography**, v. 41, n. 3, p. 561-573, 2014.

ZEISS, C. Micro Imaging GmbH. **AxioVision 4.9**. Göttingen, Deutschland, 2017.

## 6 CAPÍTULO 2: *LIFE FORM TRAITS* DE COLEÓPTEROS DO SOLO EM SISTEMAS AGRÍCOLAS E FLORESTAIS DE SANTA CATARINA

### RESUMO

O objetivo do estudo foi avaliar as características relacionadas a adaptação a vida no solo das comunidades de coleópteros, sua sensibilidade aos sistemas de uso do solo e relação com os atributos edáficos. A pesquisa foi realizada em cinco usos do solo distintos, sendo: Plantio direto, integração lavoura-pecuária, pastagem, reflorestamento de eucalipto e floresta nativa, amostrados em quatro regiões (Oeste, Planalto, Leste e Sul), no Estado de Santa Catarina, Brasil. Foram analisados coleópteros coletados em grade de amostragem com nove pontos, distanciados entre si em 30 m, no inverno e verão. Os métodos de coleta dos invertebrados envolveram a escavação de monólitos de solo (*Tropical Soil Biology and Fertility – TSBF*) e armadilhas de queda. Os coleópteros do solo foram avaliados pela metodologia do *Eco-morphological index*, sendo separados em morfotipos edáficos (maior adaptação ao solo), hemiedáficos (intermediários) e epígeos (menor adaptação ao solo e maior poder de dispersão). Também foram avaliados atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo e considerados como variáveis ambientais explicativas. A pastagem apresentou a maior diversidade funcional em relação as formas de vida epígeas, hemiedáficas e edáficas. Foram encontrados coleópteros epígeos e hemiedáficos indicadores de floresta nativa e pastagem. O grupo eco-morfológico edáfico apresentou correlação com os atributos do solo, pH, Ca/Mg, Ca/K, matéria orgânica, carbono microbiano e respiração microbiana. Houve maior participação dos coleópteros epígeos nos sistemas florestais e sua redução ocorreu de acordo com o aumento da intensificação de uso do solo. Os morfotipos de coleópteros com diferentes adaptações à vida no solo, apresentaram dissimilaridades entre os usos da terra.

### 6.1 INTRODUÇÃO

A identificação dos coleópteros a nível de espécie depende de conhecimento taxonômico especializado, pois é a maior ordem da classe Insecta e inclui as mais variadas espécies taxonômicas, com muitas ainda não descritas (STORK, 2018). Sendo assim, a utilização dos coleópteros do solo, de forma abrangente é dificultada. Se realiza na ciência do solo, em grande parte, a nível de ordem taxonômica, juntamente com avaliações da fauna geral

do solo. Quando realizada identificação taxonômica mais específica, como em nível de espécie, se restringe a uma única família ou subfamília (FRANÇA et al., 2016; JOUVEAU et al., 2020).

Abordagens alternativas, como a avaliação de *traits* (i.e. traços ou características) específicos, ou grupos funcionais que contribuam para o entendimento do funcionamento e/ou processos que ocorrem no solo, tem grandes possibilidades de ajudar a compreender o papel dos coleópteros nos ecossistemas (PEY et al., 2014). Um método interessante para o estudo dos artrópodes do solo é o *Eco-morphological index*, onde os organismos são separados de acordo com sua *Life form* (i.e. forma de vida), avaliando *traits* específicos para determinar seu nível de adaptação a vida no solo (PARISI et al., 2005; MENTA et al., 2018).

Com a utilização dessa metodologia, os coleópteros do solo podem ser separados em três níveis de adaptação ao solo dependendo dos *traits* que apresenta. São eles: os edáficos, que mantém contato direto com o solo e são capazes de acessá-lo em maior profundidade; os epígeos, que vivem na superfície do solo em contato com a liteira e os hemiedáficos, que correspondem aos intermediários (PARISI et al., 2005). Além disso, é uma forma de avaliação considerada de menor custo, pois requer poucos equipamentos, tempo e energia, necessários para a amostragem e análise das amostras (MENTA et al., 2018).

Alguns trabalhos utilizaram a metodologia do *Eco-morphological index* adaptada para o estudo de grupos específicos de invertebrados edáficos, como os colêmbolos (OLIVEIRA FILHO et al., 2016; SILVA et al., 2016; REIS et al., 2016; SANTOS et al., 2018; MACHADO et al., 2019). Também para a avaliação do grupo Coleoptera, onde a metodologia demonstrou capacidade de distinguir os usos da terra e indicar alterações no solo (POMPEO et al., 2017). Portanto, é uma boa ferramenta para verificar dissimilaridades das comunidades de Coleoptera em áreas sujeitas a um gradiente de interferência antrópica.

As atividades antrópicas em áreas agrícolas e florestais podem ocasionar efeitos adversos nos processos biológicos, físicos e químicos do solo, levando a degradação completa desse sistema. A parte viva do solo é influenciada por essas alterações de forma mais imediata, por essa razão os coleópteros do solo possuem uma boa capacidade de demonstrar as mudanças do ambiente (POMPEO et al., 2020; BERNARDES et al., 2020). O método baseado em *Life form traits* pode contribuir para analisar como essas mudanças afetam os coleópteros em seu aspecto funcional no solo. Além disso, é de fácil utilização e pode ser realizado por pesquisadores não taxonomistas (POMPEO et al., 2017).

Essas condições são favoráveis para que essa metodologia de avaliação dos coleópteros seja utilizada amplamente em projetos das ciências agrárias. O próximo passo é aplica-lo em escala regional e entender melhor a participação dos coleópteros do solo, com diferentes “*life*

*form traits*”, nos sistemas agrícolas e florestais. Avaliar se sua capacidade de viver no interior do solo é influenciada pela ação antrópica e se é relevante para estudos de biodiversidade funcional e monitoramento ambiental.

Baseado nas informações apresentadas, testou-se as seguintes hipóteses: (i) Há diferenças na similaridade das comunidades de morfotipos eco-morfológicos de coleópteros do solo entre os usos do solo no inverno e verão; (ii) Ocorrem morfotipos eco-morfológicos indicadores dos principais usos do solo em Santa Catarina; (iii) Há relação dos grupos eco-morfológicos de Coleoptera e morfotipos indicadores com as variáveis ambientais; (iv) A diversidade funcional (FD), a qualidade biológica do solo (QBS) e a média ponderada da comunidade baseada nos *traits* (mT) que determinam a capacidade de adaptação a vida no solo ou a não adaptação, variam com a intensificação do uso do solo. Nesse sentido, o objetivo do estudo foi avaliar os aspectos funcionais em relação a adaptação a vida no solo das comunidades de coleópteros, sua sensibilidade aos sistemas de uso do solo e relação com os atributos edáficos.

## 6.2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 6.2.1 Locais de estudo

O estudo foi realizado no Estado de Santa Catarina, Brasil, envolvendo quatro diferentes regiões: Oeste, Planalto, Leste e Sul. A descrição dos locais de coleta e amostragem podem ser encontradas de forma mais detalhadas no Capítulo 1 desta tese. Em cada uma das regiões foram selecionados três municípios que representam as repetições do estudo (Figura 1, pág. 56). A saber, no Oeste: Chapecó, Xanxerê e São Miguel do Oeste; no Planalto: Lages, Campo Belo do Sul e Otacílio Costa; no Leste: Joinville, Blumenau e Timbó; no Sul: Orleans, Lauro Müller e Siderópolis (Apêndice A1).

Os três municípios de cada região foram selecionados de acordo com suas características geográficas, tipo de solo e histórico de manejo e considerados como as réplicas verdadeiras dos sistemas a serem estudados. A região do Planalto Sul Catarinense é caracterizada, de acordo com a classificação climática de Köppen, como subtropical úmida, com clima oceânico (Cfb), sem estação seca, com chuvas bem distribuídas e temperatura média do mês mais quente menor que 22 °C, com verão ameno. Nas demais regiões (Oeste, Leste e Sul), segundo esta mesma classificação, o clima é do tipo Cfa, subtropical com verões quentes, com algumas exceções de

altitude mais elevada onde é Cfb (ALVARES et al., 2013). Há predomínio de solos argilosos, com exceção da região Sul que apresenta solos médio-argilosos e arenosos.

Os sistemas de uso do solo (SUS) que envolvem o estudo, são cinco ecossistemas de ocorrência generalizada no Sul do Brasil e possuem crescente interferência antrópica, sendo: floresta nativa (FN); reflorestamento de eucalipto (RE); pastagem perene (PA); integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD). As amostras dos coleópteros e do solo foram coletadas de forma sistemática, em grade amostral de três x três pontos, com espaçamento entre cada ponto de 30 m e 20 m de bordadura, ou seja, uma área de 1 ha (100 m x 100 m) para cada SUS. Informações sobre histórico e manejo dos SUS estão expostas no Apêndice A2. Informações também podem ser obtidas em Bartz et al. (2014), Rosa et al. (2015), Souza et al. (2016), Pompeo et al. (2017) e Santos et al. (2018); Pompeo et al. (2020).

### **6.2.2 Amostragem dos coleópteros e do solo**

A coleta dos coleópteros do solo foi realizada utilizando-se dois métodos de amostragem, um baseado no *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF) (ANDERSON; INGRAM, 1993) e as armadilhas do tipo "Pitfall traps" que foram mantidas por três dias no campo (BARETTA et al., 2014). Após essa etapa os organismos foram armazenados em álcool 80% para posterior identificação. Mais detalhes sobre os métodos de amostragem podem ser encontrados no Capítulo 1, pág. 53.

Para as análises químicas e microbiológicas do solo, foram coletadas quinze sub amostras ao redor de cada ponto da grade amostral na camada de 0-10 cm, para formar uma amostra composta representativa (Apêndice A9). A avaliação dos atributos químicos seguiu a metodologia de Tedesco et al. (1995).

As amostras para as análises físicas foram retiradas com cilindros de aço de 5 cm de altura e 5 cm de diâmetro (indeformadas), sendo analisadas, densidade do solo, porosidade total, microporos, macroporos e bioporos seguindo Manual da Embrapa (CLAESSEN, 1997). A resistência à penetração foi avaliada por meio de penetrômetro de bancada Marconi® modelo MA-933, em amostras com umidade estável na tensão de 6 kPa. A umidade do solo volumétrica foi determinada em laboratório seguindo Claessen, (1997). Além disso, foram separadas amostras de solo com torrões para avaliação da estabilidade de agregados, por meio do diâmetro médio ponderado de agregados (KEMPER; CHEPIL, 1965). A granulometria do solo (areia, argila e silte) foi determinada pelo método da pipeta (GEE; BAUDER, 1986).

Nas análises dos atributos ligados a dinâmica do carbono no solo, o carbono da biomassa microbiana (CMic) foi determinado pelo método de fumigação-extração (VANCE et al., 1987), a atividade microbiana foi avaliada pela determinação da respiração basal microbiana (RMic) (ALEF; NANNIPIERI, 1995). Com os resultados de RMic e do CMic foi calculado o quociente metabólico ( $qCO_2$ ) (TÓTOLA; CHAER, 2002). O carbono orgânico total (COT) e o carbono orgânico particulado (COP) (CAMBARDELLA; ELLIOT, 1992) foram determinados por combustão seca pelo autoanalisador elementar de CNHS Vario EL Cube. A partir dos resultados de CMic e COT foi calculado o quociente microbiano ( $qMic$ ) (ANDERSON, 1994).

### **6.2.3 Identificação dos morfotipos de coleópteros do solo: Abordagem de características eco-morfológicas de adaptação a vida no solo**

A identificação e contagem dos coleópteros foi realizada com a utilização de uma lupa ZEISS (microscópio estereoscópico), modelo Stemi 2000-C, com câmera. A morfotipagem é uma análise das características morfológicas baseada no valor *Eco-morphological index* (EMI) (PARISI, 2001; PARISI et al., 2005; POMPEO et al., 2017). A metodologia que tem o objetivo de separar os organismos de acordo com seu grau de adaptação ao solo, através da observação de suas características morfológicas (*life form traits*).

Para tal, a avaliação dos morfotipos consiste na observação de quatro características de cada coleóptero, a saber: comprimento do corpo superior ou inferior a 2 mm, medido por meio do Software AxioVision 4.9© (ZEISS, 2017), tegumento fino ou rígido, asas membranosas reduzidas ou ausentes e olhos reduzidos/ausentes ou normais dos insetos. Os autores consideraram que estas características estão relacionadas a funções no ecossistema e que as adaptações à vida no solo passam especialmente por essas características (Tabela 7) (PARISI et al., 2005; MENTA et al., 2018).

Quando avaliada a relação funcional de cada *trait* com o ecossistema, o tamanho do corpo está associado a dispersão, a capacidade de forrageamento, é influenciado pelas alterações do ambiente e relacionado com a quantidade e composição dos recursos utilizados. A morfologia dos olhos está ligada a preferência de habitat, a prevenção de predadores, se é diurno ou noturno e pode ser filtrada pelas condições ambientais. As asas membranosas estão relacionadas a dispersão, quando desenvolvidas dão capacidade de voo. O tegumento está ligado a resistência, uso do micro-habitat, quanto mais rígido, maior a resistência a fatores externos (FOUNTAIN-JONES; BAKER; JORDAN; 2015; MORETTI et al., 2017).

Tabela 7 - Característica e pontuação utilizadas no cálculo do valor EMI (*eco-morphological index*) para a distinção de diferentes morfotipos de Coleoptera.

CARACTERÍSTICA		EMI
Tamanho (comprimento)	Menor que 2 mm	5
	Maior que 2 mm	0
Tegumento	Fino	5
	Coreáceo ou rígido/duro	0
Asas membranosas	Reduzidas ou ausentes	5
	Desenvolvidas	0
Olhos	Reduzidos ou ausentes	5
	Grandes – maiores que ¼ da cabeça	0

Fonte: adaptado de Parisi et al. (2005) por Pompeo et al. (2017).

Um morfotipo é atribuído para cada combinação diferente de características, com valor final de EMI correspondente a soma dos valores das quatro características, que pode variar entre 1 e 20 (Tabela 8). Com o valor EMI total, é possível separar os morfotipos em três grupos: edáficos, hemiedáficos e epígeos.

Tabela 8 - Padrão de classificação para as categorias de características morfológicas de Coleoptera.

Valor parcial do índice eco-morfológico (EMI)				EMI final	Grupo eco-morfológico	Morfotipo
Tamanho 0 ou 5	Tegumento 0 ou 5	Asa membranosas 0 ou 5	Olhos 0 ou 5			
5	0	0	0	5	Epígeo	Ep1
0	5	0	0	5	Epígeo	Ep2
0	0	5	0	5	Epígeo	Ep3
0	0	0	5	5	Epígeo	Ep4
0	0	0	0	1*	Epígeo	Ep5
5	5	0	0	10	Hemi-edáfico	H1
5	0	5	0	10	Hemi-edáfico	H2
5	0	0	5	10	Hemi-edáfico	H3
0	0	5	5	10	Hemi-edáfico	H4
0	5	5	0	10	Hemi-edáfico	H5
0	5	0	5	10	Hemi-edáfico	H6
5	5	5	5	20	Edáfico	Ed1
5	5	5	0	15	Edáfico	Ed2
5	5	0	5	15	Edáfico	Ed3
5	0	5	5	15	Edáfico	Ed4
0	5	5	5	15	Edáfico	Ed5

Forma de vida claramente epígea (não possui nenhuma característica de adaptação edáfica) (\*).

Fonte: adaptado de Parisi et al. (2005) por Pompeo et al. (2017).

Os edáficos (de vida no solo, menor poder de dispersão e uma maior adaptação ao solo), possuem morfotipos com valores variando de 15 a 20 (Ed); os hemiedáficos (intermediários), com valor 10 (H) e epígeos (habitantes da superfície-serapilheira, menor adaptação ao solo e maior poder de dispersão) com valores de 1 a 5 (Ep) (Tabela 8). Ou seja, se um coleóptero estiver bastante adaptado a viver no solo, ele provavelmente será pequeno, não precisará ter grandes olhos nem asas membranosas desenvolvidas (que são usadas para o voo), sendo assim, pode-se inferir que um valor alto de EMI corresponde a organismos mais edáficos e um valor baixo aos mais epígeos (POMPEO et al., 2017).

#### 6.2.4 Análise dos dados

##### *Dissimilaridade de morfotipos de coleópteros entre os usos do solo*

Para a realização das análises foram utilizadas matrizes contendo as abundâncias dos dois métodos de amostragem juntos (monólitos de solo e armadilhas de queda), por época de coleta. Essa forma de utilização dos dados já foi descrita em outros estudos (POMPEO et al., 2016b; POMPEO et al., 2017; ALEXANDRE, 2019). Foram realizadas *Principal Coordinates Analysis* (PCoA), com base na matriz de similaridade após transformação dos dados  $\log(x+1)$  e a aplicação do índice de Bray-Curtis, para visualizar a dissimilaridade da comunidade de morfotipos de coleópteros entre SUS. Para verificar as diferenças entre os SUS foram realizadas *Permutational multivariate analysis of variance* (PERMANOVA), também com base no índice de Bray-Curtis da matriz de dados de abundância transformados (com 999 permutações). Utilizando os usos como efeito fixo e as regiões como efeito aleatório, com o objetivo de avaliar as dissimilaridades entre os usos do solo (já considerando a variabilidade estimada pela interação Uso  $\times$  Região), com comparações múltiplas *a posteriori*. As análises foram realizadas no programa PRIMER 6 (CLARKE & GORLEY, 2005).

##### *Morfotipos eco-morfológicos de coleópteros indicadores dos usos do solo*

Para verificar os morfotipos eco-morfológicos indicadores dos usos do solo, foi realizada a análise IndVal, avaliando as espécies indicadoras para todas as regiões, por não haver variabilidade na ocorrência entre regiões. Para esta análise foi utilizado o pacote labdsv (ROBERTS, 2019) no *software* estatístico R (R CORE TEAM, 2020).

##### *Relação dos grupos funcionais com os atributos do solo*

A relação entre os atributos do solo e grupos com formas de vida epígea, hemiedáfica e edáfica dos coleópteros, também dos morfotipos indicadores, foi verificada pela análise não-paramétrica da correlação de Spearman ( $p < 0,05\%$ ), utilizando o *software* STATISTICA versão 10 (STATSOFT, 2011). Essa análise foi realizada por época de coleta, independente de região e SUS, sendo retiradas as variáveis que apresentaram colinearidade e mantidas as significativas e não colineares.

#### *Qualidade biológica do solo, média ponderada do trait na comunidade e diversidade funcional*

A partir do score do EMI, calculou-se os valores de *Biological Quality of Soil* (QBS), que corresponde ao índice de qualidade biológica do solo, onde foi utilizado o valor EMI, multiplicado pela abundância de coleópteros do referido morfotipo, com a finalidade de obter uma ideia mais abrangente em termos de escala de adaptação ao ambiente e essas informações podem ser associadas aos diferentes SUS, em um gradiente de intensificação de uso do solo (PARISI, 2005; POMPEO et al., 2017).

Em adição ao QBS, foi calculado a *Trait Community Weighted Mean* (mT). Essa métrica é muitas vezes entendida como a definição do atributo funcional dominante em uma comunidade ou a proporção de um determinado grupo funcional. É calculado como uma média de um determinado morfotipo dividido pela abundância dos organismos, ponderada pelo valor específico do EMI ligado à sua forma de vida (GARNIER et al., 2004; VANDEWALLE et al., 2010; POMPEO et al., 2017).

Além destes, foi calculada a *Functional Diversity* (FD) que é a diferença entre espécies em uma comunidade em relação aos seus *traits* (RAO, 1982; LEPŠ et al., 2006). O FD é baseado no índice Rao e é igual à soma da dissimilaridade dos *traits* entre todos os possíveis pares de espécies ponderado pelo produto da abundância relativa das espécies. Em síntese, o FD é como o índice de Simpson, mas nesse caso ao invés de representar a probabilidade de dois indivíduos serem da mesma espécie como ocorre em Simpson, o FD representa a probabilidade destes, serem funcionalmente diferentes (VANDEWALLE et al., 2010). Para verificar as diferenças significativas do QBS, mT e FD entre os SUS, realizou-se análise não-paramétrica de Kruskal-Wallis e comparação aos pares *a posteriori* para os índices QBS e FD, no programa STATISTICA 10 (STATSOFT, 2011). O índice de diversidade de Simpson (1-D) foi calculado utilizando o software PAST 4.01 versão 2020 (HAMMER et al., 2001).

Ainda em relação as avaliações dos índices, foi realizada análise de *Linear Mixed Models* (LMM) para o mT com o objetivo de verificar se sua variação segue a intensificação

do uso do solo. Para essa análise as regiões foram consideradas como efeito aleatório, e o grau de intensificação de uso do solo como efeito fixo (grau de 1 ao 5, FN < RE < PA < ILP < PD) para a variável resposta mT dos coleópteros epígeos, a fórmula utilizada no modelo foi a seguinte: (mT\_epigeo~uso, random = ~1|região).

No modelo, o efeito aleatório considera que os dados estão agrupados em regiões, cujo efeito sobre a variável resposta não interessa diretamente, também organiza parte da variação dos dados que não é possível explicar, presente no erro do modelo linear simples. O efeito fixo “intensidade de uso do solo” é o efeito de interesse sobre a variável resposta “mT epígeo”. É importante destacar que o nome “misto” indica que existem tanto efeitos fixos, quanto aleatórios no modelo (LABTROP, 2020).

A variável resposta possui valores contínuos e atende a premissa da homocedasticidade de variâncias e distribuição normal dos resíduos, requerida para os modelos LMM. A análise foi realizada utilizando o pacote nlme (PINHEIRO et al., 2020). O diagnóstico dos resíduos foi verificado com a função “plotresid” e teste de Shapiro, no pacote RVAideMemoire (HERVÉ, 2020). Todas as análises relacionadas ao LMM foram realizadas no *software* estatístico R (R CORE TEAM, 2020). A interpretação dos resultados dessa análise seguiu o roteiro apresentado em LabTrop (2020).

### 6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao avaliar os coleópteros do solo em relação as suas adaptações a vida no solo, considerando suas características eco-morfológicas, no inverno foram encontrados 14 morfotipos (3 edáficos, 6 hemiedáficos e 5 epígeos) e no verão 16 morfotipos (5 edáficos, 6 hemiedáficos e 5 epígeos) (Apêndices A10 e A11). Os mais abundantes foram os epígeos, representados por 1.645 indivíduos no inverno e 1.917 no verão, seguidos dos hemiedáficos com 892 no inverno e 430 no verão, por fim os edáficos com 179 indivíduos no inverno e 299 no verão.

Os morfotipos com maior contribuição, nas duas épocas, entre os epígeos foram Ep5 (1.963) representando 37% dos coleópteros e Ep2 (1.283) com 24%. Entre os hemiedáficos os mais representativos foram o H1 (681) com 13% e o H6 (415) com 8%. Já nos edáficos o Ed2 (262) contribuiu com 5% dos indivíduos e o Ed5 (193) com apenas 4%.

### 6.3.1 Dissimilaridade eco-morfológica dos coleópteros entre os usos do solo

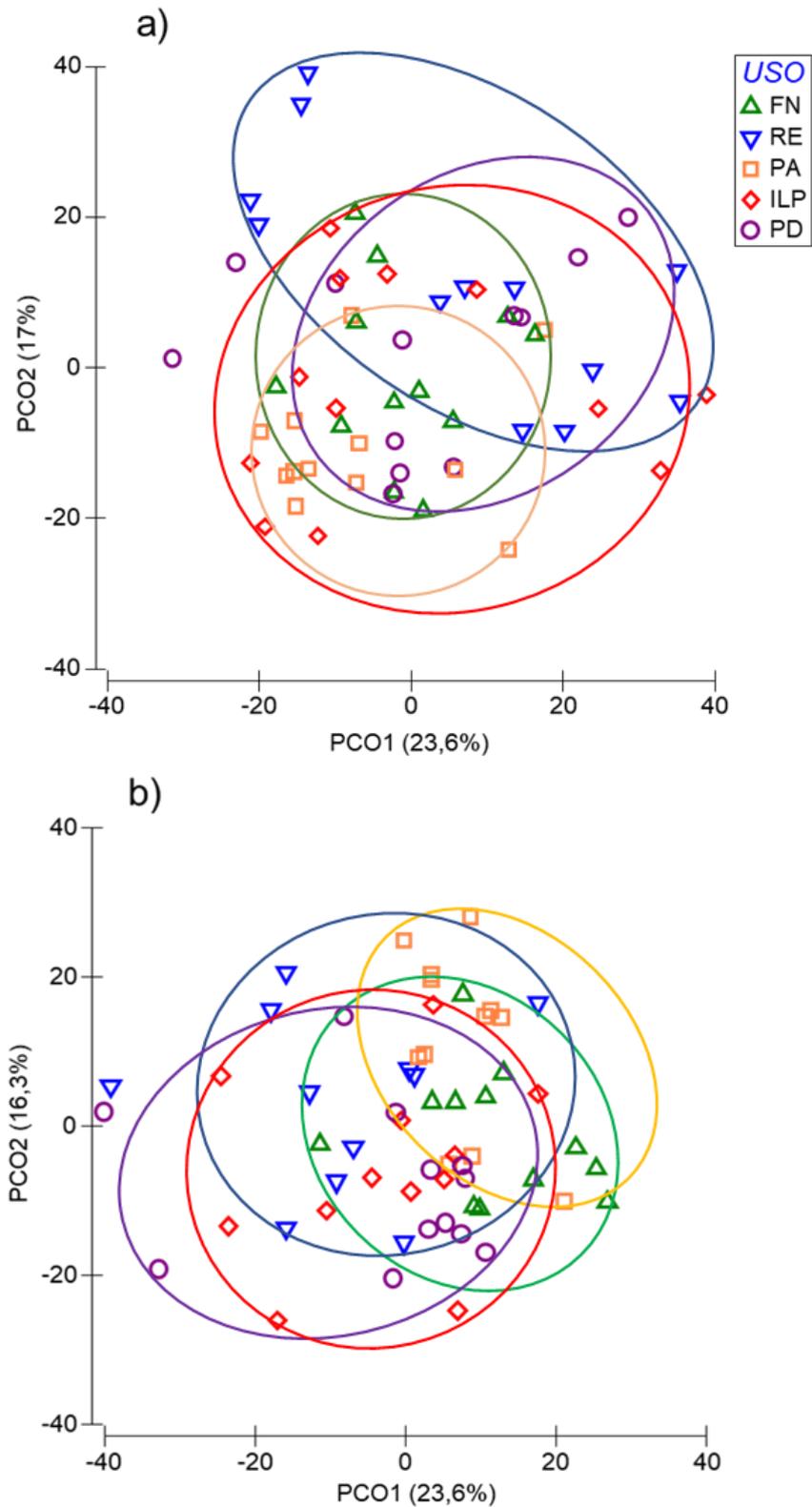
Na PCoA para os morfotipos eco-morfológicos de coleópteros coletados no inverno, é possível observar que o eixo da componente principal 1 (PCO1) foi responsável por 23,6% da variação dos dados e a componente principal 2 (PCO2) por 17%. Totalizando 40,6% da variabilidade dos dados (Figura 10a).

As amostras ficaram bastante distribuídas, sendo difícil visualizar dissimilaridades entre os Usos. FN, RE e PD não demonstram dissimilaridade entre si, pois ficaram distribuídas na ordenação ao longo do eixo 1. O uso PA apresentou maior aglomeração de amostras no lado esquerdo e inferior do gráfico, indicando ser diferente dos outros SUS, em termos de composição da comunidade de morfotipos eco-morfológicos de Coleoptera (Figura 10a).

Na PCoA dos morfotipos eco-morfológicos de coleópteros coletados no verão, é possível observar que a PCO1 foi responsável por 23,6% da variação dos dados, mesmo valor demonstrado no inverno e a PCO2 por 16,3%, totalizando 40% da variação dos dados (Figura 10b). Nesta ordenação, as amostras de FN demonstram maior dissimilaridade, na composição da comunidade eco-morfológica de coleópteros, dos usos RE e PA. Também pode-se observar dissimilaridades entre os usos PA e PD.

De acordo com a análise PERMANOVA há diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) da comunidade de morfotipos eco-morfológicos de coleópteros do solo entre os SUS estudados, no inverno, assim como entre as regiões (Tabela 9), confirmando os resultados demonstrados na PCoA (Figura 10). Como o objetivo deste capítulo não é comparar as quatro regiões, estas foram consideradas como efeito aleatório nas análises.

Figura 10 - Análise de coordenadas principais (PCoA) da dissimilaridade de morfotipos eco-morfológicos de Coleoptera, no inverno (a) e verão (b), em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lacoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), avaliados em Santa Catarina.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Tabela 9 - PERMANOVA da comunidade de morfotipos de Coleoptera com base no coeficiente de Bray-Curtis para os dados de abundância transformados, para sistemas de uso do solo (SUS) como fatores fixos e Regiões como *random*, no inverno.

Parâmetro	df	Pseudo-F	<i>p value</i>	Permutações	<i>p</i> (Monte-Carlo)
Inverno					
SUS	4	3,1536	0,001	999	0,001*
Região	3	3,4671	0,001	999	0,001*
SUS x Região	12	1,0071	0,457	999	0,462
Resíduo	40				
Total	59				
Verão					
SUS	4	3,1299	0,001	999	0,001*
Região	3	3,7842	0,001	998	0,001*
SUS x Região	12	1,3263	0,048	999	0,070
Resíduo	40				
Total	59				

Significativo  $p < 0,05$  (\*).

No verão, assim como no período do inverno, a comunidade de morfotipos foi diferente para o parâmetro SUS e região (Tabela 9). Nas duas épocas não houve interação significativa ( $p > 0,05$ ) entre uso e região, indicando que não há necessidade do fator SUS ser analisado dentro do nível região.

Apesar de não ser o objetivo do capítulo avaliar diferenças entre regiões separadamente, consideradas aqui como efeito aleatório, foi utilizado teste *par-wise* ( $p < 0,05$ ) para elucidar o resultado demonstrado na Tabela 9. Sendo no inverno, Planalto diferente do Leste ( $p = 0,001$ ) e do Sul (0,005), mas similar ao Oeste (0,097). Oeste diferente de Leste ( $p = 0,001$ ) e Sul ( $p = 0,003$ ). Sul e Leste demonstraram similaridade (0,731).

No verão apenas não foi observada dissimilaridade entre Planalto e Oeste ( $p = 0,2$ ), no restante das comparações para o efeito aleatório, ocorreram dissimilaridades significativas, Planalto e Leste ( $p = 0,003$ ), Planalto e Sul ( $p = 0,009$ ), Oeste e Leste ( $p = 0,001$ ), Oeste e Sul ( $p = 0,001$ ) e Leste e Sul ( $p = 0,016$ ).

Nos resultados das comparações aos pares da comunidade de morfotipos eco-morfológicos de coleópteros entre SUS, no inverno houve diferença significativa entre os usos FN e ILP; RE e PA; RE e ILP; PA e ILP; sendo que o uso ILP não diferiu apenas de PD. No verão a FN diferiu de RE, PA e PD, ou seja, não foi diferente apenas de ILP; o RE diferiu de PA; o sistema PA foi diferente de PD (Tabela 10).

Tabela 10 - Comparações aos pares entre sistemas de uso do solo (SUS) da PERMANOVA da comunidade de morfotipos de Coleoptera, no inverno e verão com base no coeficiente de Bray-Curtis para os dados de abundância transformados.

SUS	Inverno		Verão	
	t	p (Monte-Carlo)	t	p (Monte-Carlo)
FN, RE	1,4477	0,103	2,3091	0,006*
FN, PA	1,6552	0,061	2,4293	0,007*
FN, ILP	1,834	0,023*	1,6788	0,051
FN, PD	1,5198	0,089	1,9327	0,018*
RE, PA	2,5236	0,002*	1,8189	0,045*
RE, ILP	2,6499	0,002*	1,3785	0,152
RE, PD	1,4446	0,120	1,3956	0,175
PA, ILP	2,3975	0,006*	1,7234	0,046
PA, PD	1,6086	0,069	1,7805	0,032*
ILP, PD	1,1034	0,357	0,8264	0,63

Significativo  $p < 0,05$  (\*).

Os resultados da Tabela 10, demonstram que os usos ILP e PD foram similares em relação a comunidade eco-morfológica de coleópteros, tanto no inverno quanto no verão. Essa condição pode ser decorrente da semelhança de manejo realizado nesses dois sistemas, principalmente das culturas de inverno e verão e da realização de semeadura direta, com exceção de algumas áreas de ILP do Leste (Apêndice A2).

Ortiz et al. (2019), ao estudarem estes mesmos usos do solo, na região Sul de Santa Catarina, verificaram similaridades entre PD e ILP, na distribuição de morfotipos eco-morfológicos de colêmbolos. Resultado também encontrado por Machado et al. (2019), para a comunidade de colêmbolos na região do Planalto Catarinense, no inverno e verão. Indicando que esse comportamento é observado para outras comunidades de invertebrados da fauna do solo, também avaliados por meio de suas características de adaptação à vida no solo, utilizando a metodologia do EMI.

Os resultados demonstrados até aqui, confirmaram a hipótese (i), que há diferenças na similaridade das comunidades de morfotipos eco-morfológicos de coleópteros do solo entre os usos do solo no inverno e verão.

### 6.3.2 Morfotipos indicadores dos usos do solo e sua relação com os atributos do solo

De acordo com os resultados da análise IndVal, foram encontradas três espécies indicadoras no inverno ( $p \leq 0,05$ ), sendo um morfotipo epígeo (Ep1) indicador de FN e dois hemiedáficos H4 e H6, indicadores de FN e PA, respectivamente. No verão foram observados

os mesmos morfotipos indicadores hemiedáficos que no inverno e mais dois epígeos (Ep2 e Ep5), ambos indicadores em FN (Tabela 11). A maior taxa indicadora foi observada para o morfotipo H6 no inverno (63%). O baixo valor IndVal observado para os morfotipos de coleópteros (< 50%), está relacionado a frequência destes em outros SUS, não sendo exclusivos nos sistemas FN e PA.

Tabela 11 - Morfotipos indicadores dos sistemas de uso do solo (SUS) em Santa Catarina, de acordo com a análise IndVal ( $p \leq 0,05$ ).

<b>Morfotipo eco-morfológico</b>	<b>SUS</b>	<b>IndVal</b>	<b><i>p value</i></b>
Inverno			
Epígeo Ep1	FN	0,430	0,001
Hemiedáfico H4	FN	0,429	0,002
Hemiedáfico H6	PA	0,632	0,001
Verão			
Epígeo Ep2	FN	0,477	0,001
Epígeo Ep5	FN	0,379	0,004
Hemiedáfico H4	FN	0,462	0,002
Hemiedáfico H6	PA	0,376	0,031

Floresta nativa (FN); pastagem perene (PA).

As características eco-morfológicas apresentadas pelos morfotipos indicadores dos SUS, de acordo com as Tabelas 7 e 8, são as seguintes: tamanho menor que 2mm, tegumento rígido, asas membranosas desenvolvidas e olhos grandes (Ep1); tamanho maior que 2mm, tegumento fino, asas membranosas desenvolvidas e olhos grandes (Ep2); tamanho maior que 2 mm, tegumento rígido, asas membranosas desenvolvidas e olhos grandes (Ep5); tamanho maior que 2 mm, tegumento rígido, asas membranosas reduzidas ou ausentes e olhos reduzidos (H4); tamanho maior que 2 mm, tegumento fino, asas membranosas desenvolvidas e olhos reduzidos (H6).

É possível perceber a importância dos coleópteros epígeos em FN, incluindo o Ep5 que não apresenta nenhuma das características de adaptação a vida no solo elucidadas como principais para essa metodologia de avaliação, ou seja, os epígeos são indivíduos maiores e com mais habilidades de dispersão (Tabela 8). Mas isso não significa que não existam espécies “epígeas” que também possuem capacidade de acessar o interior do solo devido a outras características como por exemplo as pernas fossoriais, que auxiliam na escavação, ou ainda, a capacidade de viver no interior do solo durante uma fase específica do seu ciclo de vida, como a larval ou de pupa. Esses outros *traits* não são considerados para a pontuação do EMI.

Os resultados encontrados para o teste IndVal, confirmam a hipótese (ii) levantada. Demonstrando que ocorrem morfotipos indicadores dos principais usos do solo em Santa

Catarina. Contudo, sua taxa indicadora é baixa, de acordo com os resultados demonstrados em outros estudos, para morfoespécies de formigas e coleópteros (LEACH et al., 2013; ARENAS-CLAVIJO; ARMBRECHT, 2019). Esses autores evidenciaram melhor taxa indicadora acima de 70%, por ser mais confiável.

### 6.3.3 Relação dos grupos eco-morfológicos com os atributos do solo

Na Tabela 12, pode-se verificar que os morfotipos indicadores e os grupos eco-morfológicos foram correlacionados com alguns atributos do solo avaliados (Apêndice A9). No inverno o grupo dos edáficos (Ed) apresentou correlação positiva com os atributos químicos do solo, P, pH, Ca/Mg e Ca/K; o grupo dos hemiedáficos (H) demonstrou correlação negativa com C/N e PT e positiva com P e areia; o grupo dos epígeos (Ep) apresentou correlação positiva com P e Ca/Mg. Quando observados os morfotipos indicadores no inverno separadamente, o H4 apresentou correlação positiva com Umidade e PT; o H6 com os atributos MO e Umidade; e o Ep1 correlação negativa com C/N e K e positiva com areia (Tabela 12).

Tabela 12 - Correlação de Spearman entre os atributos do solo e os grupos eco-morfológicos edáfico (Ed), hemiedáfico (H), epígeo (Ep) e morfotipos indicadores, no inverno em Santa Catarina.

Atributo	Ed	H	Ep	H4	H6	Ep1
C/N	ns	-0,336*	ns	ns	ns	-0,283*
K	ns	ns	ns	ns	ns	-0,292*
P	0,339*	0,255*	0,278*	ns	ns	ns
MO	ns	ns	ns	ns	0,346*	ns
pH	0,403*	ns	ns	ns	ns	ns
Ca/Mg	0,407*	ns	0,295*	ns	ns	ns
Ca/K	0,476*	ns	ns	ns	ns	ns
Umidade	ns	ns	ns	0,293*	0,314*	ns
PT	ns	-0,278*	ns	0,365*	ns	ns
Areia	ns	0,412*	ns	ns	ns	0,269*

Relação carbono e nitrogênio (C/N); potássio (K); fósforo (P); matéria orgânica (MO); potencial hidrogeniônico (pH); relação cálcio e magnésio (Ca/Mg); relação cálcio e potássio (Ca/K); porosidade total (PT); não significativo (ns); significativo ( $p \leq 0,05$ ) (\*).

No verão, o grupo dos edáficos ficou negativamente correlacionado com CMic e positivamente com RMic, pH e MO; os hemiedáficos demonstraram correlação positiva com RMic, N, MO e DMP; e os epígeos foram correlacionados com RMic, N, MO, umidade, PT, Argila e negativamente com P (Tabela 13). Quanto aos morfotipos indicadores dessa época de amostragem, o H4 foi correlacionado negativamente com C/N e pH e positivamente com Bio;

o H6 positivamente com RMic, N, MO, umidade e negativamente com P; o Ep2 apresentou correlação com RMic, N, MO e umidade; o Ep5 com RMic, N, MO, PT e Argila.

A correlação dos coleópteros edáficos com as variáveis químicas e microbiológicas do solo ficou bastante evidente nas duas épocas de coleta (Tabelas 12 e 13). Ainda não é muito conhecida a relação desse grupo funcional dos coleópteros com essas variáveis, mas já foi evidenciada a correlação dos colêmbolos edáficos (identificados pelo índice eco-morfológico) com o carbono microbiano e cálcio do solo, no Planalto de Santa Catarina (OLIVEIRA FILHO et al., 2016).

Nesse mesmo estudo, os autores também verificaram correlação positiva do grupo eco-morfológico de colêmbolos hemiedáficos com o conteúdo de areia do solo, demonstrando maior adaptação desses organismos em solos arenosos (OLIVEIRA FILHO et al., 2016). A correlação positiva dos coleópteros epígeos com a umidade, demonstrada no verão, pode indicar que a maior umidade do solo contribui para reduzir as perdas de água do corpo e favorecer a presença desse grupo na superfície do solo (Tabela 13).

Tabela 13 - Correlação de Spearman entre os atributos do solo e os grupos eco-morfológicos edáfico (Ed), hemiedáfico (H), epígeo (Ep) e morfotipos indicadores, no verão em Santa Catarina.

Atributo	Ed	H	Ep	H4	H6	Ep2	Ep5
CMic	-0,308*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
RMic	0,359*	0,291*	0,436*	ns	0,319*	0,278*	0,394*
N	ns	0,463*	0,439*	ns	0,401*	0,367*	0,349*
C/N	ns	ns	ns	-0,285*	ns	ns	ns
pH	0,281*	ns	ns	-0,262*	ns	ns	ns
P	ns	ns	-0,262*	ns	-0,278*	ns	ns
MO	0,321*	0,417*	0,430*	ns	0,408*	0,258*	0,387*
Umidade	ns	ns	0,285*	ns	0,344*	0,345*	ns
PT	ns	ns	0,2895*	ns	ns	ns	0,296*
Bio	ns	ns	ns	0,337*	ns	ns	ns
Argila	ns	ns	0,256*	ns	ns	ns	0,295*
DMP	ns	0,272*	ns	ns	ns	ns	ns

Carbono da biomassa microbiana (CMic); respiração basal microbiana (RMic); nitrogênio (N); relação carbono e nitrogênio (C/N); potencial hidrogeniônico (pH); fósforo (P); matéria orgânica (MO); porosidade total (PT); bioporos (Bio); diâmetro médio ponderado de agregados (DMP); não significativo (ns); significativo ( $p \leq 0,05$ ) (\*).

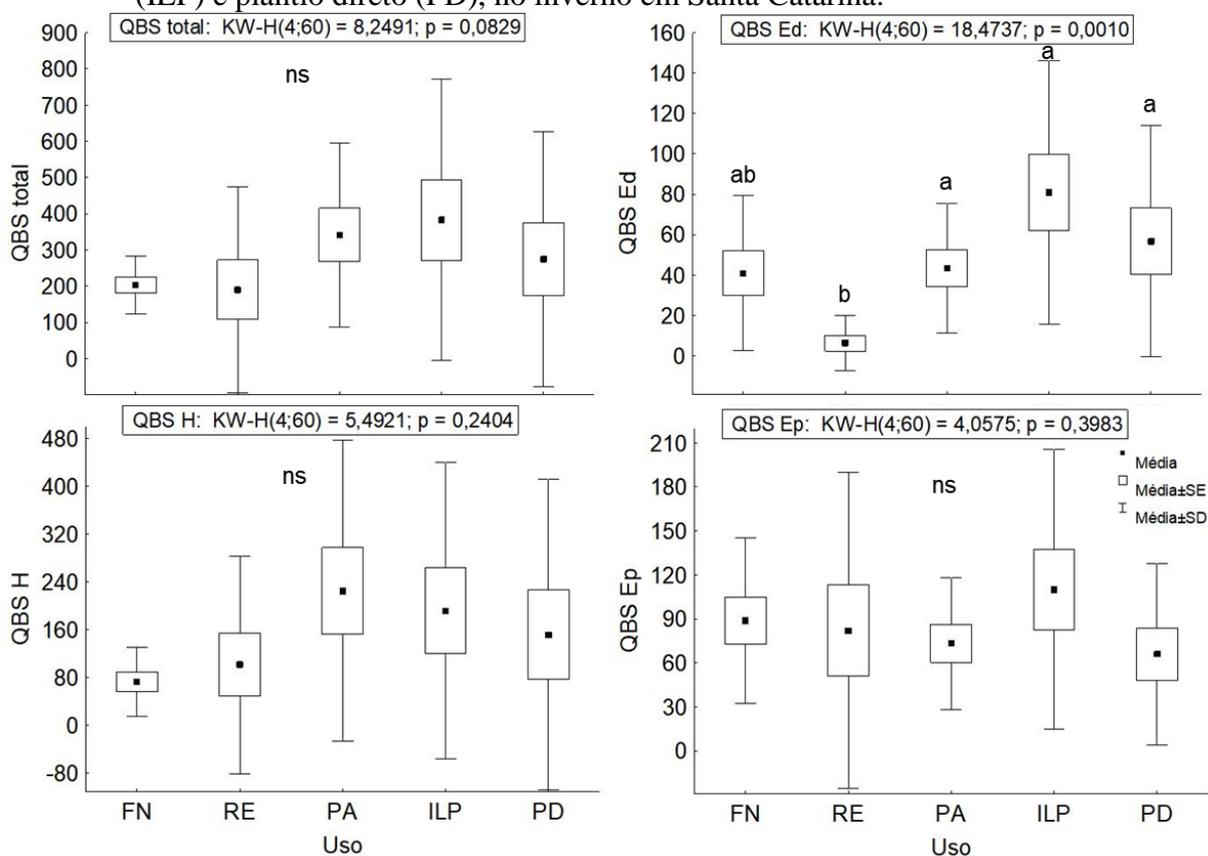
Sistemas que fornecem um nível mais alto de MO no solo, principalmente por resíduo vegetal, podem contribuir para a sustentabilidade dos ecossistemas e influenciar a presença dos diferentes grupos eco-morfológicos de coleópteros, uma vez que os aumentos da MO dependem da deposição de resíduos orgânicos e manutenção no solo (POMPEO et al., 2017). Os resultados

demonstrados nas Tabelas 12 e 13, confirmam a hipótese (iii) levantada. Há relação dos grupos eco-morfológicos de Coleoptera e morfotipos indicadores com as variáveis ambientais.

### 6.3.4 Índices de qualidade biológica do solo (QBS), média ponderada da comunidade (mT) e diversidade funcional (FD)

Os organismos do grupo dos coleópteros podem ter mais de um *score* de EMI e o valor do índice QBS é determinado pelo *score* mais alto e a maior abundância, ou seja, os organismos mais adaptados e mais abundantes é que determinam o valor final do índice para o grupo. No inverno o QBS total, que é a soma do referido índice para os morfotipos edáficos, hemiedáficos e epígeos, não demonstrou diferenças entre os SUS. Apenas no QBS Ed houve diferença significativa ( $p = 0,001$ ), onde o menor valor foi observado em RE e os maiores em PA, ILP e PD, sendo que a FN não diferiu de nenhum uso (Figura 11).

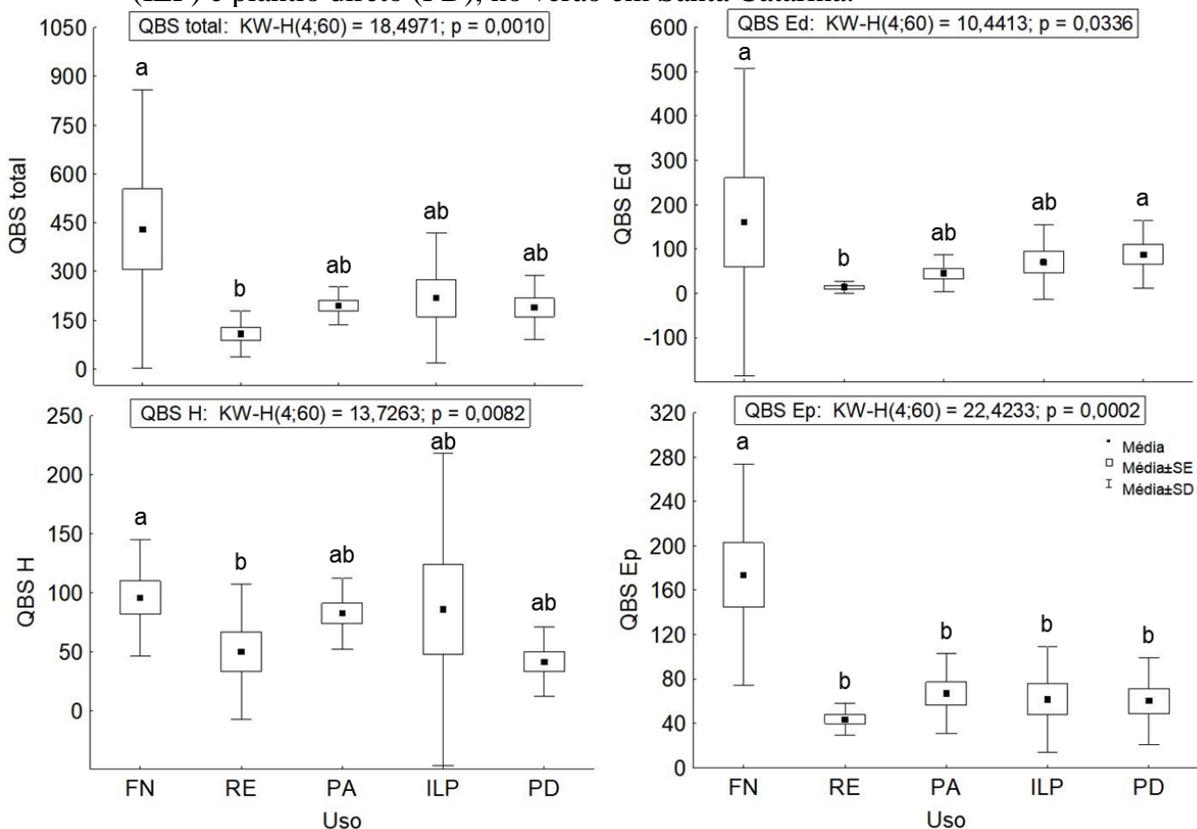
Figura 11 - Índice de Qualidade Biológica do Solo (QBS) dos coleópteros em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no inverno em Santa Catarina.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020. Edáfico (Ed); hemiedáfico (H); epígeo (Ep). Valores médios seguidos pela mesma letra são similares segundo o teste Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ;  $n = 60$ ); ns = não significativo.

No verão, houve diferença significativa entre os usos para o QBS total, edáfico, hemiedáfico e epígeo. O QBS total foi maior em FN que diferiu apenas de RE, considerado o menor valor (Figura 12). No QBS Ed, os usos com maior índice foram FN e PD que apresentaram diferenças significativas quando comparados com RE. No QBS H, o uso FN diferiu de RE. Já em relação ao QBS Ep, o uso FN foi o mais expressivo, sendo significativamente diferente dos demais sistemas (RE, PA, ILP, PD).

Figura 12 - Índice de Qualidade Biológica do Solo (QBS) dos coleópteros em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no verão em Santa Catarina.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Edáfico (Ed); hemiedáfico (H); epígeo (Ep). Valores médios seguidos pela mesma letra são similares segundo o teste Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ;  $n = 60$ ).

Ao analisar as Figuras 11 e 12, é possível destacar a importância da FN para o índice QBS no verão e que o RE é o uso menos expressivo em termos de qualidade biológica considerando o cálculo QBS, que levou em conta a condição de que foram coletados menos indivíduos nesse sistema. Rüdissler et al. (2015), conduziram um estudo com diferentes sistemas de uso do solo na Itália, avaliando a fauna de microartrópodes do solo e verificaram maior valor de QBS em ecossistemas florestais, quando comparados com áreas agrícolas. Resultado também demonstrado no presente capítulo para FN, no verão. Contudo, não foi encontrado o

mesmo resultado de QBS para o uso florestal RE, que possui menor intensificação de uso do solo quando comparado com ILP e PD.

Essa condição pode estar relacionada com a baixa diversidade vegetal presente em RE e a pouca qualidade da liteira produzida nesse sistema, devido a monocultura (PRIMIERY et al., 2017). Por consequência, pode prejudicar grupos de coleópteros e filtrar organismos menos adaptados para a vida no solo. Diversos estudos têm demonstrado que o QBS-ar (calculado para a comunidade de microartrópodes), pode ser usado como um indicador do impacto antropogênico no solo, causado pelas práticas de uso da terra (RÜDISSER et al., 2015; MENTA et al., 2018).

Contudo, outro estudo realizado na Itália, onde foi verificada a influência dos usos com plantio direto e plantio convencional e da fertilização com N, na qualidade biológica do solo, o resultado não foi como esperado. O índice foi considerado inadequado para detectar a consequência do manejo do plantio direto e da fertilização de N, na comunidade de microartrópodes. Os resultados obtidos, sugeriram que não houve influência do sistema de preparo do solo. (TABAGLIO et al., 2009).

Nesse sentido, os resultados do QBS, no presente estudo, podem não ter apresentado capacidade de demonstrar diferenças entre os usos RE, PA, PD e ILP. O uso RE apresentou baixa abundância total de organismos (Apêndices A10 e A11), que é considerada decisiva para o valor final do QBS. Somado a isso, deve ser considerado que aqui o cálculo do índice foi adaptado para o grupo Coleoptera e os estudos citados, consideram diversas ordens.

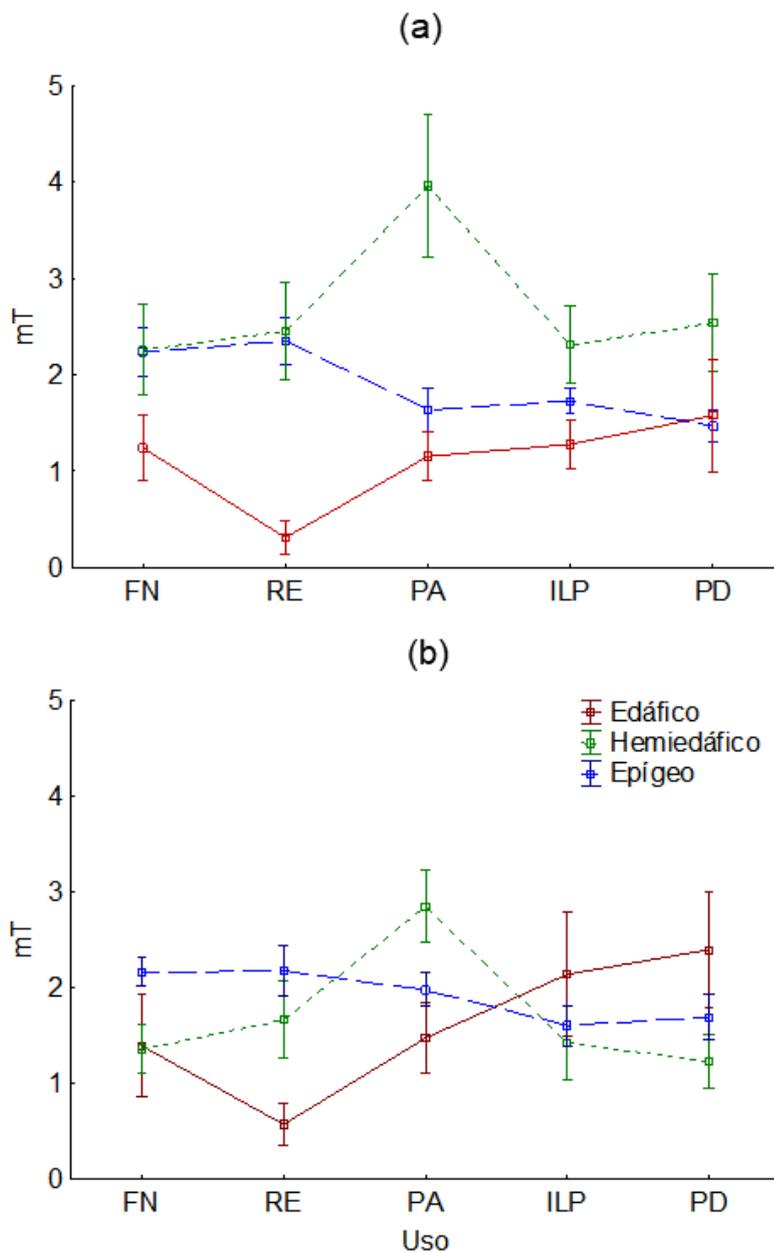
Para os resultados de mT, houve diferenças significativas entre os SUS de acordo com o teste Kruskal-Wallis ( $p \leq 0,05$ ), no inverno para os edáficos (11,589;  $p = 0,021$ ) e epígeos (10,642;  $p = 0,031$ ) e não significativa para os hemiedáficos ( $p = 0,374$ ). Na comparação aos pares, foi encontrada diferença significativa para os edáficos entre RE e ILP e para os epígeos entre RE e PD (Figura 13).

No verão as diferenças foram significativas entre os usos para os coleópteros hemiedáficos (12,021;  $p = 0,017$ ), mas não ocorreu diferença para os edáficos ( $p = 0,124$ ) e os epígeos ( $p = 0,117$ ) (Figura 13). Na comparação aos pares, foi encontrada diferença para os coleópteros hemiedáficos entre PA e PD. Apesar de não haver diferença significativa para o mT edáfico e epígeo para o verão, é possível perceber que os valores seguem a mesma tendência que no inverno, ou seja, de acordo com a intensificação de uso do solo.

Nesse sentido, é possível dizer que a presença de coleópteros com características edáficas aumentou em direção aos usos agrícolas ILP e PD, ou seja, ocorreram mais morfotipos edáficos com maior número de indivíduos nesses sistemas em relação ao total e que esses

apresentam mais características edáficas. Em adição a isso, o inverso ocorreu para os epígeos de uma forma aparentemente mais linear, com mT mais elevado nos usos florestais e descendo em direção aos usos PA, ILP e PD (Figura 13). Essa condição pode ter relação com a cobertura vegetal presente nos SUS ou ao manejo e influenciar na dispersão dos grupos morfológicos com diferentes *traits*.

Figura 13 - Média ponderada da comunidade (mT) em relação aos *traits* de coleópteros baseada no índice eco-morfológico em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), em Santa Catarina no inverno (a) e verão (b).



Fonte: Elaborada pela autora, 2020. Plotagem representa os valores das médias  $\pm$  erro padrão (n = 60).

A partir da observação dos resultados da Figura 13, optou-se pela realização da análise de modelos mistos lineares (LMM) utilizando os dados de mT dos epígeos como variável resposta, por entender que esses apresentam um padrão de diminuição ao longo dos SUS com maior intensificação de uso do solo, ou seja, maior interferência antrópica (Tabela 14).

Tabela 14 - Efeitos fixos do modelo linear misto (LMM) considerando a fórmula (mT Epígeo ~ intensificação de uso do solo), utilizando as regiões de Santa Catarina como efeito aleatório.

<b>Efeito fixo</b>	<b>Coefficiente estimado</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t-value</b>	<b>p-value</b>
<i>Inverno</i>				
Intercepto das regiões	2,5333	0,2201	11,5083	0,000
Intensificação (Uso)	-0,2158	0,0664	-3,2516	0,002
<i>Verão</i>				
Intercepto das regiões	2,3700	0,2471	9,5924	0,000
Intensificação (Uso)	-0,1505	0,0604	-2,4909	0,016

Intensificação (Uso) representa o grau de intensificação do sistema de uso do solo por intervenção antrópica, sendo menor em FN (1) < RE (2) < PA (3) < ILP (4) < PD (5).

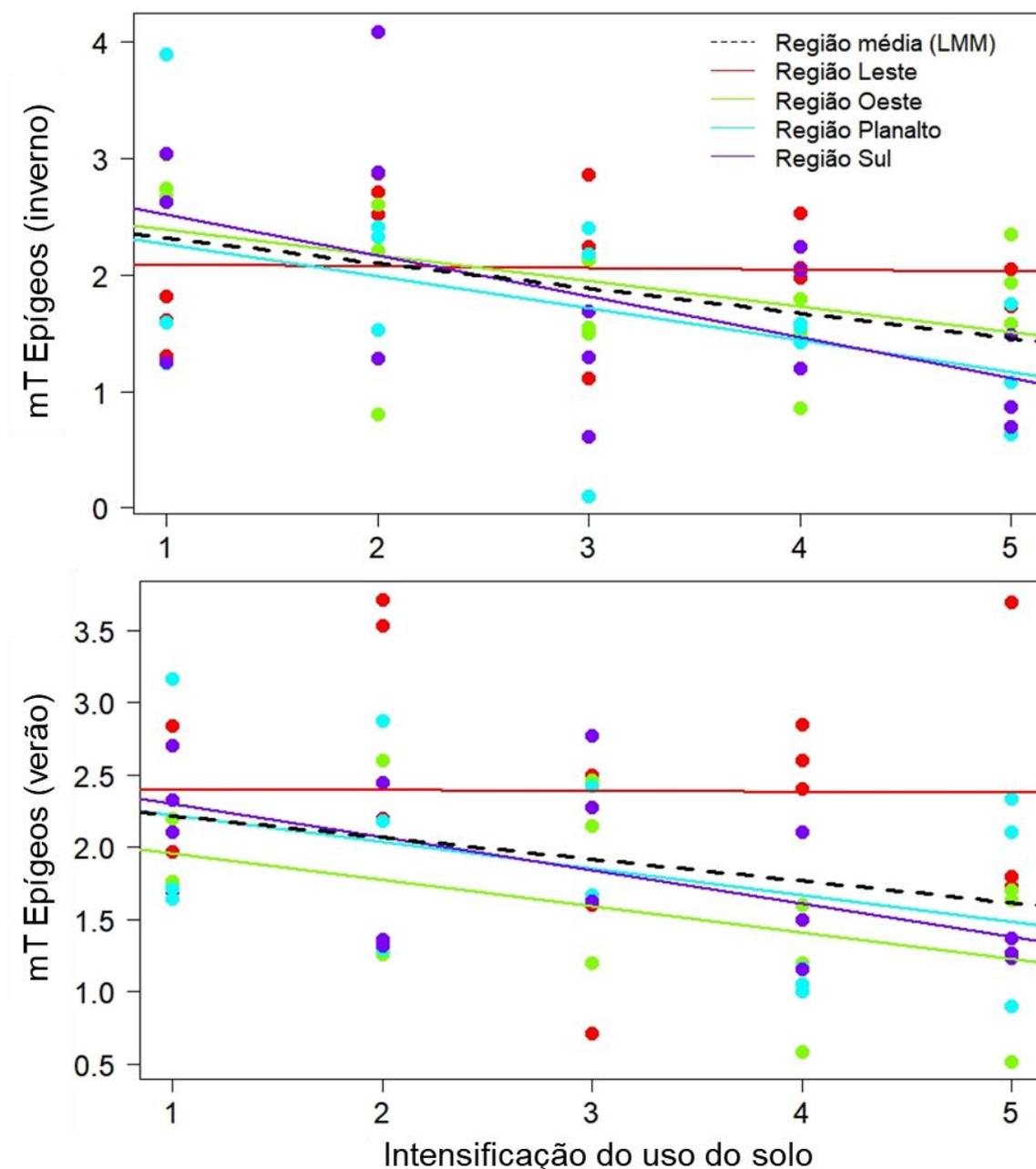
Em relação aos efeitos aleatórios, os resultados para o mT dos epígeos no inverno foram: desvio padrão (SD) do intercepto “Região” ( $2,399e^{-05}$ ) e SD do resíduo (0,727); no verão SD região (0,289) e SD do resíduo (0,662). O SD é uma medida do quanto a variabilidade da variável dependente mT é devida aos dois efeitos aleatórios analisados (os interceptos das regiões e os resíduos). Pode-se verificar em “Região” que o desvio padrão é associado às diferenças de intercepto entre regiões do modelo, já em relação ao valor do resíduo, este indica o quanto da variabilidade não é prevista pela variável aleatória “Região” nem pela variável fixa “Intensificação de uso do solo”. Os resultados dos efeitos fixos estão expostos na Tabela 14.

Os efeitos fixos observados na Tabela 14, indicam os coeficientes estimados para cada um dos fatores considerados como fixos. No intercepto (Região média), o coeficiente estimado é o mT quando a intensificação é zero (2,53 no inverno e 2,37 no verão), e o coeficiente angular da intensificação de uso do solo (-0,22 no inverno e -0,15 no verão), o que indica que há uma diminuição do mT dos epígeos da ordem de mais de 0,2 a cada unidade de intensificação do uso do solo acrescida no inverno e 0,15 no verão. Nesse sentido, a análise apresentou resultado significativo dos efeitos fixos sobre a variáveis resposta.

A predição do LMM para a diminuição do mT epígeo de acordo com o aumento a intensificação de uso do solo, tanto no inverno quanto no verão, foram expostas na figura a seguir como “Região média” (Figura 14). Na mesma figura também são apresentadas as linhas de tendência linear simples para cada região separadamente. Nesta figura é possível visualizar

o quanto o mT varia e reforça a ideia de que há maior participação de coleópteros epígeos nos sistemas com menos interferência antrópica e mais cobertura vegetal, ou seja, os florestais. Esses resultados evidenciaram que a intensificação do uso do solo influencia na adaptação dos coleópteros a vida no solo.

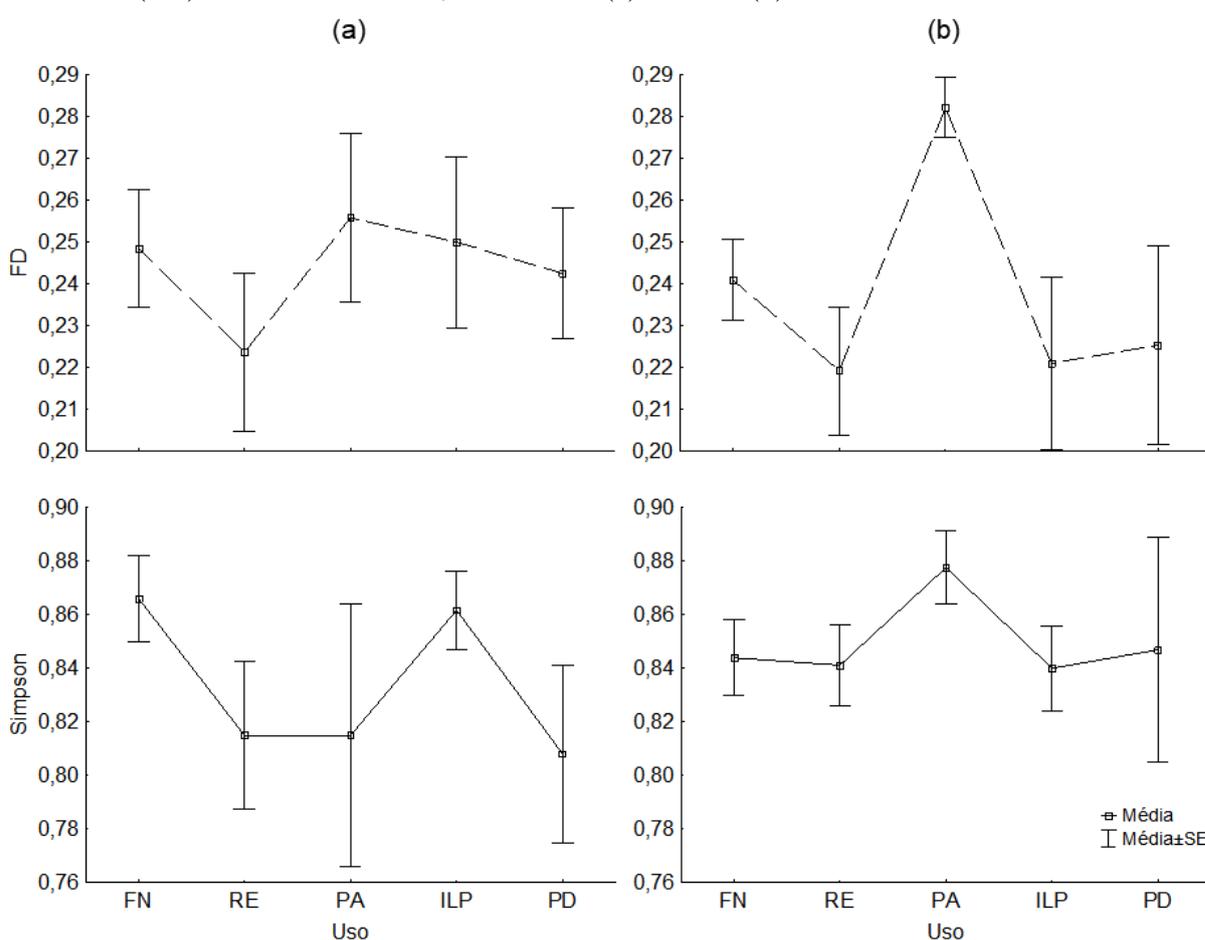
Figura 14 - Modelos lineares para cada Região (Oeste, Planalto, Sul e Leste) e a predição do modelo linear de efeito misto (LMM) para a Região média, em relação a variação dos coleópteros epígeos (mT Epígeos) de acordo com o aumento da intensificação do uso do solo, em Santa Catarina no inverno e verão.



Fonte: Elaborada pela autora. Intensificação do uso do solo, representa o grau de intervenção antrópica nos sistemas de uso do solo (SUS), sendo menor em FN (1) < RE (2) < PA (3) < ILP (4) < PD (5).

De acordo com os resultados de FD não houve diferença significativa, pelo teste Kruskal-Wallis ( $n = 60$ ;  $\alpha = 5\%$ ), entre os usos no inverno, sendo FD (5,2167;  $p = 0,2658$ ). Foram apresentadas diferenças significativas apenas no verão, FD (13,1169;  $p = 0,0107$ ); segundo a comparação aos pares apenas os valores de FD em RE foram diferentes de PA ( $p = 0,009$ ) (Figura 15).

Figura 15 - Diversidade funcional (FD) de adaptação a vida no solo e diversidade de espécies de Simpson dos coleópteros amostrados em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD). de Santa Catarina, no inverno (a) e verão (b).



Fonte: elaborada pela autora, 2020.

Na Figura 15 também foram apresentados os resultados da diversidade de Simpson das morfoespécies de colópteros descritos no capítulo 1 (pág. 65), apenas para efeito de comparação entre o FD e a diversidade de espécies. Percebe-se para a diversidade de espécies de Simpson no inverno, a média mais elevada foi em FN seguida de ILP, PA e RE (bastante similares) e menor em PD. Já em relação a diversidade funcional a média mais elevada foi em PA e não em FN. No verão os resultados entre a diversidade funcional e a diversidade de espécies foram mais

similares, apresentando a média mais elevadas em PA. Nesse sentido, é importante destacar que a diversidade funcional nem sempre vai seguir a mesma variação da diversidade de espécies de coleópteros.

Segundo Fountain-Jones et al. (2015), quando a diversidade funcional dos coleópteros não é estritamente proporcional à diversidade de espécies, esta pode fornecer evidências de que fatores inexplicáveis, como processos históricos, operaram em um sistema. No presente capítulo, a variação entre a diversidade de morfoespécies e a diversidade funcional dos coleópteros, principalmente no inverno, pode estar relacionada a fatores históricos e/ou espaciais ligados a cada região estudada. A exemplo da variação do clima, solo, altitude, vegetação, entre outros fatores que ao longo do tempo moldam os padrões de biodiversidade em cada região de Santa Catarina.

Vandewalle et al. (2010), demonstraram em estudo com besouros da família Carabidae, que ambos os descritores da diversidade, taxonômicos e funcionais, transmitiram informações complementares sobre a resposta desse grupo à estrutura da paisagem. A diversidade taxonômica foi aumentada em paisagens com alta riqueza de habitats, enquanto a FD e o mT foram influenciados pela mudança na composição da paisagem com diferentes usos do solo florestais e agrícolas.

Os resultados expostos confirmam, em partes, a hipótese (iv) levantada. A diversidade funcional e a qualidade biológica, variam dependendo do uso do solo e época de amostragem. A média ponderada da comunidade baseada nos *traits* que determinam a capacidade de adaptação a vida no solo ou a não adaptação varia com a intensificação de uso do solo.

#### 6.4 CONCLUSÃO

As comunidades eco-morfológicas dos coleópteros do solo apresentaram dissimilaridades entre os usos da terra, tanto no inverno quanto no verão, com exceção a integração lavoura-pecuária (ILP) vs plantio direto (PD), quando comparadas entre si e reflorestamento de eucalipto (RE) vs PD.

Foram encontrados morfotipos de coleópteros epígeos (Ep1, Ep2 e Ep5) e hemiedáficos (H4 e H6) indicadores dos sistemas de uso do solo FN e pastagem (PA). Entretanto, apresentaram baixo valor indicador, necessitando de mais estudos para comprovar o seu potencial como indicadores desses sistemas. Esses morfotipos foram correlacionados com atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo (C/N, K, P, matéria orgânica, umidade, porosidade, respiração microbiana, conteúdos de areia e argila).

O grupo eco-morfológico edáfico apresentou correlação apenas com atributos químicos e microbiológicos do solo (P, pH, Ca/Mg, Ca/K, matéria orgânica, carbono microbiano e respiração microbiana).

O sistema RE apresentou a menor qualidade biológica do solo. A participação de coleópteros com *traits* considerados de adaptação edáfica foi maior nos usos agrícolas ILP e PD. Houve maior participação dos coleópteros epígeos nos sistemas florestais e sua redução ocorreu de acordo com o aumento da intensificação de uso do solo (FN < RE < PA < ILP < PD), ou seja, diminuiu nos usos com maior interferência antrópica PA, ILP e PD. O uso do solo PA apresentou a maior diversidade funcional em relação as formas de vida “*Life form traits*” dos coleópteros (epígeos, hemiedáficos e edáficos).

## REFERÊNCIAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Eds.) **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. 576p.

ALVARES, C. A. et al. Köppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical Soil Biology and Fertility: A handbook of methods**. Wallingford: C-A-B International, 1993. 265p.

ANDERSON, T.H. Physiological analysis of microbial communities in soil: applications and limitations. In: RITZ, K.D.; GILLER, K.E. (Eds.). **Beyond the biomass**. London: British Society of Soil Science, 1994. p. 67-76.

ARENAS-CLAVIJO, A.; ARMBRECHT, I. Soil ants (Hymenoptera: Formicidae) and ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in a coffee agroforestry landscape during a severe-drought period. **Agroforestry Systems**, v. 93, n. 5, p. 1781-1792, 2019.

BARETTA, D. et al. Soil fauna and its relation with environmental variables in soil management systems. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 5, p. 871–879, 2014.

BARTZ, M. L. C. et al. The influence of land use systems on soil and surface litter fauna in the western region of Santa Catarina. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 5, p. 880–887, 2014.

BERNARDES, A. C. C. et al. Abundance and diversity of beetles (Insecta: Coleoptera) in land use and management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, e0190183, 2020.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organicmatter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 777-783, 1992.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Solos; 1997.

CLARKE, K. R.; GORLEY, R.N. **PRIMER: Getting started with v6**. Plymouth: PRIMER-E Lta. 2005. p.12.

FOUNTAIN-JONES, N. M.; BAKER, S. C.; JORDAN, G. J. Moving beyond the guild concept: Developing a practical functional trait framework for terrestrial beetles. **Ecological Entomology**, v. 40, n. 1, p. 1–13, 2015.

FRANÇA, F. et al. Do space-for-time assessments underestimate the impacts of logging on tropical biodiversity? An Amazonian case study using dung beetles. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 4, p. 1098–1105, 2016.

GARNIER, E. et al. Plant functional markers capture ecosystem properties during secondary succession. **Ecology**, v. 85, n. 9, p. 2630-2637, 2004.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 383-411.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RAYAN, P. D. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, vol. 4, n. 1, p. 9, 2019.

HERVÉ, M. **RVAideMemoire: Testing and Plotting Procedures for Biostatistics**. R package version 0.9-75. <https://CRAN.R-project.org/package=RVAideMemoire>. 2020.

JOUVEAU, S. et al. Carabid activity-density increases with forest vegetation diversity at different spatial scales. **Insect Conservation and Diversity**, v. 13, n. 1, p. 36-46, 2020.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregation. In: BLACK, C. A. (Ed.).

**Methods of soil analysis.** Madison: American Society of Agronomy; 1965. p. 499-510.

LABTROP. **Modelos Lineares Mistos.** Disponível em: <[http://labtrop.ib.usp.br/doku.php?id=cursos:planeco:roteiro:11-lmm\\_rcmdr](http://labtrop.ib.usp.br/doku.php?id=cursos:planeco:roteiro:11-lmm_rcmdr)> Acesso em: mai. 2020.

LEACH, E. et al. Potential of ants and beetles as indicators of rainforest restoration: characterising pasture and rainforest remnants as reference habitats. **Ecological Management & Restoration**, v. 14, n. 3, p. 202-209, 2013.

LEPŠ, J. et al. Quantifying and interpreting functional diversity of natural communities: practical considerations matter. **Preslia**, v. 78, n.4, p. 481-501, 2006.

MACHADO, J.S. Morphological diversity of springtails (Hexapoda: Collembola) as soil quality bioindicators in land use systems. **Biota Neotropica**. 19(1): e20180618, 2019.

MENTA, C. et al. Soil Biological Quality index (QBS-ar): 15 years of application at global scale. **Ecological Indicators**, v. 85, p. 773–780, 2018.

MORETTI, Marco et al. Handbook of protocols for standardized measurement of terrestrial invertebrate functional traits. **Functional Ecology**, v. 31, n. 3, p. 558-567, 2017.

OLIVEIRA FILHO, L. C. I. et al. Collembola community structure as a tool to assess land use effects on soil quality. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1-18, 2016.

ORTIZ, D. C. Diversity of springtails (Collembola) in agricultural and forest systems in Southern Santa Catarina. **Biota Neotropica**, v. 19, n. 3, 2019.

PARISI, V. et al. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: A new approach in Italy. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 105, p. 323–333, 2005.

PARISI, V. La qualità biologica del suolo. Un metodo basato sui microartropodi. **Acta Naturalia de L'Ateno Parmense**, v. 37, p. 97–106, 2001.

PINHEIRO J, BATES D, DEBROY S, SARKAR D. **nlme**: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-145, R Core Team. Disponível em: <URL: <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>>. 2020.

- POMPEO, P. N. et al. Coleoptera Diversity and Soil Properties in Land Use Systems. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 27, n. 3, e20180068, 2020.
- POMPEO, P. N. et al. Morphological diversity of coleoptera (Arthropoda: Insecta) in agriculture and forest systems. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 41, p. e0160433, 2017.
- PRIMIERI, S.; MUNIZ, A. W.; LISBOA, H. M. Dinâmica do carbono no solo em ecossistemas nativos e plantações florestais em Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 2020.
- RAO, C. R. Diversity and dissimilarity coefficients: a unified approach. **Theoretical population biology**, v. 21, n. 1, p. 24-43, 1982.
- REIS, F. et al. The use of a functional approach as surrogate of Collembola species richness in European perennial crops and forests. **Ecological Indicators**, v. 61, p. 676–682, 2016.
- ROBERTS, D. W. **labdsv**: Ordination and Multivariate Analysis for Ecology. R package version 2.0-1. <https://CRAN.R-project.org/package=labdsv>, 2019.
- ROSA, M. G. et al. 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.
- RÜDISSER, J. et al. The dark side of biodiversity: Spatial application of the biological soil quality indicator (BSQ). **Ecological Indicators**, v. 53, p. 240-246, 2015.
- SANTOS, M. A. B. et al. Morphological Diversity of Springtails in Land Use Systems. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 42, p. e0170277, 2018.
- SILVA, P. M. et al. Traits of collembolan life-form indicate land use types and soil properties across an European transect. **Applied Soil Ecology**, v. 97, p. 69–77, Apr. 2016.
- SOUZA, S. T. et al. Abundance and diversity of soil macrofauna in native forest, eucalyptus plantations, perennial pasture, integrated crop-livestock, and no-tillage cropping. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 40, p. 1–14, 2016.

STATSOFT, Inc. **STATISTICA (data analysis software system), version 10.**  
www.statsoft.com. 2011.

STORK, N. E. How Many Species of Insects and Other Terrestrial Arthropods Are There on Earth? **Annual review of entomology**, v. 63, p. 31-45, 2018.

TABAGLIO, V.; GAVAZZI, C.; MENTA, C. Physico-chemical indicators and microarthropod communities as influenced by no-till, conventional tillage and nitrogen fertilisation after four years of continuous maize. **Soil and Tillage Research**, v. 105, n. 1, p. 135-142, 2009.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. In: AVAREZ, V.H. et al. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2. p. 195-276.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 703–707, 1987.

VANDEWALLE, M. et al. A. Functional traits as indicators of biodiversity response to land use changes across ecosystems and organisms. **Biodiversity and Conservation**, v. 19, p. 2921–2947, 2010.



## 7 CAPÍTULO 3: FAUNA EDÁFICA EM PAISAGENS DO OESTE DE SANTA CATARINA

### RESUMO

O objetivo do estudo foi avaliar a distribuição de comunidades da fauna edáfica, sua relação com as variáveis ambientais e espaciais em fragmentos da paisagem, considerando a heterogeneidade de sistemas de uso do solo (SUS) em áreas rurais em Santa Catarina. Utilizaram-se avaliações da fauna do solo em escala da paisagem, em três municípios da região Oeste (Chapecó, Pinhalzinho e São Miguel do Oeste). Em cada paisagem foi estabelecida uma grade amostral dentro de uma janela com diâmetro de 1 km e pontos de coleta com aproximadamente 167 m de distância entre si. Foram realizadas duas amostragens e os métodos de coleta dos invertebrados envolveram a escavação de monólitos de solo e armadilhas de queda. Também foram avaliados atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo e da liteira, considerados como variáveis ambientais explicativas junto com as variáveis espaciais da paisagem nas análises estatísticas. Ocorreu maior abundância da fauna edáfica em floresta nativa e pastagem. Os grupos taxonômicos Acari, Araneae, Coleoptera, Collembola, Diptera, Hemiptera e Hymenoptera ocorreram em todos os usos amostrados nas paisagens. Foram verificadas variáveis que explicaram a composição da comunidade da fauna do solo na primeira (ambientais 7,1% e espaciais 4,6%) e na segunda (ambientais 8,6% e espaciais 4%) amostragem. As variáveis ambientais que apresentaram relação com a fauna edáfica foram usos do solo, altitude, peso seco da liteira, relação carbono e nitrogênio da liteira, nitrogênio do solo, potássio, pH, bioporos, espaço de aeração, condutividade hidráulica saturada e resistência a penetração. A heterogeneidade da paisagem ocasionou dissimilaridades da composição da comunidade da fauna do solo entre os fragmentos com diferentes SUS.

### 7.1 INTRODUÇÃO

A paisagem é definida como uma área que é espacialmente heterogênea em pelo menos um fator de interesse (FORMAN, 1995). Pode ser interpretada como um mosaico com quilômetros ou metros de extensão sobre o qual os ecossistemas locais se repetem (TURNER; GARDNER 2015). Em adição a isso, a fragmentação da paisagem, pode ser entendida como o rompimento de áreas maiores de cobertura da terra em fragmentos menores e mais isolados (MITCHEL et al., 2015). Nesse sentido, as alterações observadas na composição das paisagens, em ambientes rurais, geralmente ocorrem por consequência da fragmentação de áreas que um

dia fizeram parte de florestas contínuas e foram convertidas em usos agrícolas. Como consequência, são formados habitats heterogêneos e pode ser reduzida a diversidade da flora e fauna (MARICHAL et al., 2014; SILVA et al., 2018; LIU et al, 2019).

A intensificação de uso dos solos na agricultura e pecuária estão entre os causadores da redução da diversidade de espécies, associada a utilização de pesticidas e fertilizantes, operações de lavoura e o pastejo que conseqüentemente provocam mudanças nas paisagens e norteiam os padrões de biodiversidade do solo (BARETTA et al., 2014; PUECH et al, 2014, LASCALEIA et al., 2018). Essas alterações podem afetar diretamente o sistema solo, seus atributos físicos, químicos e biológicos, causando distúrbios nas comunidades de invertebrados edáficos e no equilíbrio dinâmico desse ambiente (ROSA et al, 2019).

A fauna do solo é muito importante para a manutenção dos ecossistemas devido a sua grande variedade morfológica e funcional e por participarem de forma direta ou indireta de diversos processos biológicos, tais como decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, necessários a manutenção da fertilidade e estruturação física do solo (BARDGETT; VAN DER PUTTEN, 2014). Muitas espécies de invertebrados do solo podem ser extintas porque dependem da conservação do ambiente, o que vai na contramão da expansão agrícola e intensificação do uso do solo (OLIVEIRA FILHO et al., 2018).

Compreender como os fatores bióticos e abióticos, que estão envolvidos nos usos do solo que compõem uma paisagem, afetam a comunidade da fauna edáfica, pode contribuir para o planejamento e a adoção de práticas de manejo agrícolas eficientes. Além disso, pode ajudar a evidenciar a importância da manutenção dos fragmentos de florestas nas paisagens rurais, considerados reserva e fonte da biodiversidade (MARICHAL et al., 2014; ZHANG et al., 2020).

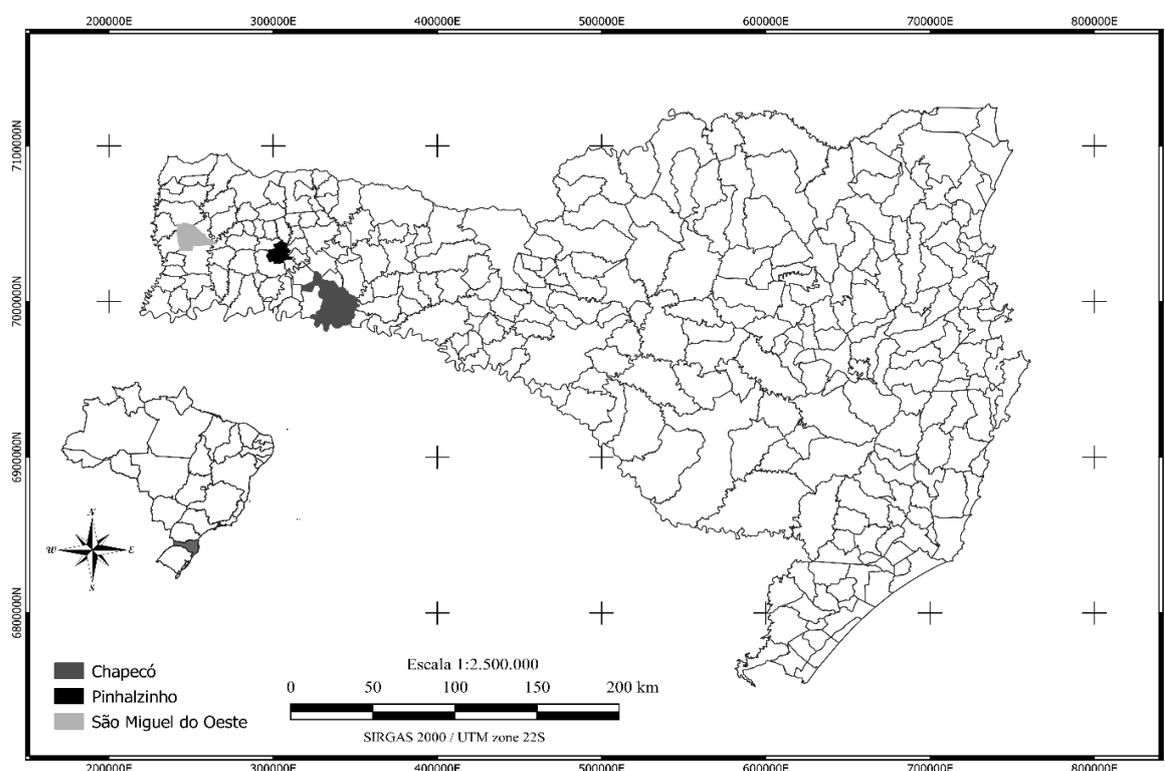
Nesse contexto, foram testadas as seguintes hipóteses: (i) Há variação na riqueza, abundância e ocorrência da fauna do solo entre os fragmentos da paisagem, no Oeste de Santa Catarina, nas duas épocas de coleta; (ii) Ocorrem dissimilaridades das comunidades de fauna do solo entre os usos do solo; (iii) Há influência tanto de variáveis espaciais quanto ambientais na composição da fauna do solo presente nas paisagens estudadas; (iv) As variáveis do solo, liteira e da paisagem apresentam relação com a fauna edáfica e podem explicar a sua distribuição. O objetivo do estudo foi avaliar a distribuição de comunidades da fauna edáfica, sua relação com as variáveis ambientais e espaciais em fragmentos da paisagem, considerando a heterogeneidade de sistemas de uso do solo (SUS) das áreas rurais em Santa Catarina.

## 7.2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 7.2.1 Locais de estudo e amostragem

Para o desenvolvimento do estudo foram selecionadas paisagens que continham os sistemas de plantio direto e florestas, em três municípios do Oeste do Estado de Santa Catarina (Figura 16). Essa região foi escolhida por ser caracterizada pela agricultura familiar cujas propriedades são geralmente pequenas, aliado a isso o relevo acidentado impossibilita a mecanização em larga escala promovendo manchas de lavoura em meio a manchas e/ou fragmentos de floresta nativa. Segundo Matte et al. (2015), “manchas” de florestas naturais representam os estágios iniciais da colonização da floresta em uma matriz não-florestal, exemplo campos; e “fragmentos” de florestas são os remanescentes de uma floresta contínua. Neste sentido, foram utilizadas três áreas para a composição do estudo, para melhor avaliação do contexto de paisagem, ou seja, a interação dos fragmentos heterogêneos que formam os mosaicos.

Figura 16 - Mapa mostrando os municípios de Chapecó, Pinhalzinho e São Miguel do Oeste, na região Oeste de Santa Catarina.



Fonte: Malhas digitais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/pt/inicio.html>>. Acesso em: abr. 2020.

Os municípios selecionados possuem clima Cfa, subtropical constantemente úmido, sem estação seca, com verão quente, segundo a classificação de Köppen, com temperatura média do mês mais quente  $\geq 22,0$  °C. A precipitação pluviométrica total anual varia de 1.900 a 2.200 mm (ALVARES et al., 2013). A umidade relativa do ar pode variar de 77 a 82%. Em Chapecó o ponto central da janela da paisagem selecionada possui coordenada de 27°4'47.00"S 52°41'0.90"O. Em Pinhalzinho, a coordenada é 26°52'39.80"S 52°57'27.50"O, e em São Miguel do Oeste é 26°44'32.00"S 53°32'25.90"O (Figura 16).

O plantio direto (PD) foi considerado o ponto central da janela da paisagem e determinado como o principal uso que compõe a paisagem, junto com a floresta nativa (FN), por ser o sistema predominante nesta região do estado. Além destes, as janelas também apresentavam outros sistemas de uso do solo (SUS), sendo: pastagem (PA); plantio de eucalipto (PE); integração lavoura-pecuária (ILP); capoeira (CP – vegetação secundária composta por gramíneas e arbustos esparsos). A escolha das áreas de São Miguel do Oeste e Chapecó, foi realizada inicialmente levando em consideração projetos anteriores (SisBiota Processo 6.309/2011-6/FAPESC e Processo: 563251/2010-7/CNPq e Agrisus).

A cidade de Pinhalzinho foi escolhida por ficar posicionada geograficamente entre Chapecó e São Miguel do Oeste. Após uma breve definição dos locais de coleta, as cidades foram verificadas através de imagens obtidas no Google Earth (2018) para conferência da real situação e posteriormente foram verificadas *in loco*. O histórico das áreas estudadas está exposto na Tabela 15.

Em cada uma das paisagens com áreas agrícolas e florestais foi determinada uma janela amostral com um diâmetro de 1 km, onde foi estabelecida grade amostral com pontos de coleta com aproximadamente 167 m de distância entre si. O número de pontos foi de 29 em cada paisagem, sendo que os que caíssem dentro da água, em construções ou em estradas foram realocados fora do círculo, considerando a mesma distância entre pontos da grade amostral (Figura 17).

A posição do grid ficou localizado de uma forma que abrangesse os fragmentos da paisagem presentes no local e não ultrapassasse estradas asfaltadas. Todos os pontos foram georreferenciados e realizadas amostragens de solo para análises químicas, físicas, microbiológicas, fauna invertebrada do solo e liteira.

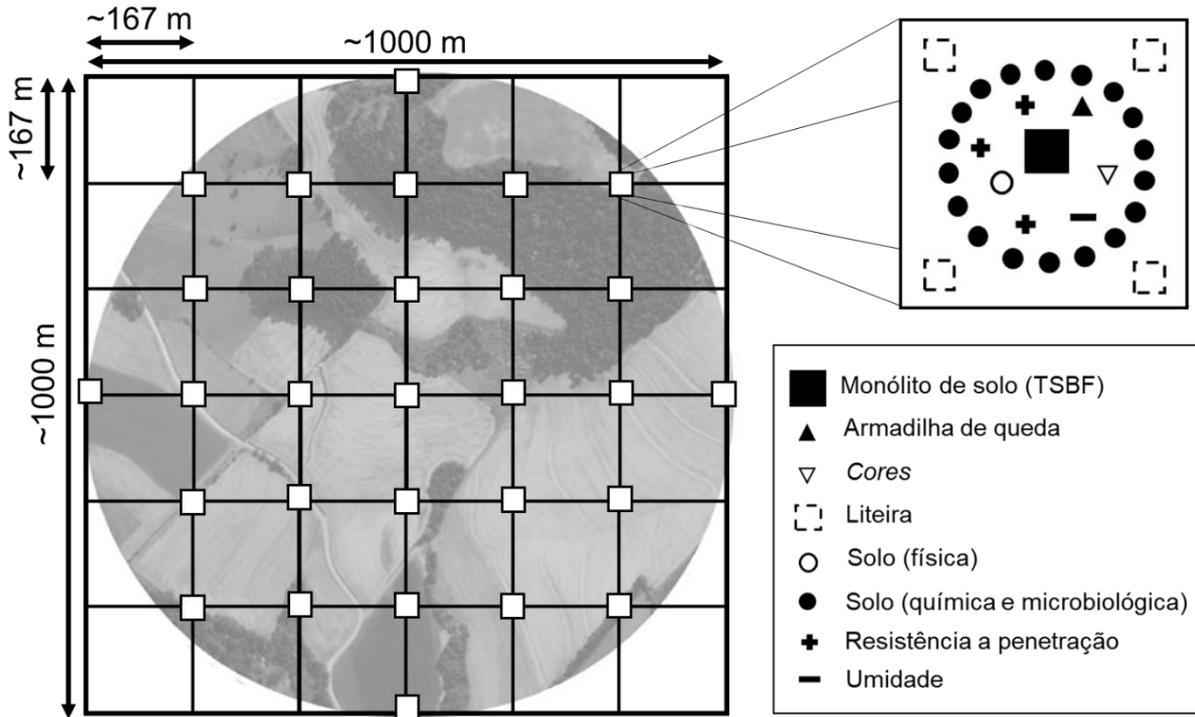
Tabela 15 - Histórico dos sistemas de uso do solo (SUS) avaliados nas janelas das paisagens de Chapecó, Pinhalzinho e São Miguel do Oeste, em Santa Catarina.

Município	SUS	Tempo (anos)	Vegetação e manejo
Chapecó	CP	-	Vegetação com gramíneas e arbustos esparsos.
	FN	-	Vegetação Secundária transição entre Floresta Ombrófila Mista (FOM) e Floresta Estacional Semi-decidual (FESD).
	ILP	19	Plantio no verão: soja ( <i>Glycine</i> sp.); Inverno: azevém ( <i>Lolium</i> sp.); Agrotóxicos; Calagem; fertilizantes químicos e cama de aves; gado de corte 5 animais/há.
	PA	1, 5 e 23	Pastagem nativa ou introduzida com tifton ( <i>Cynodon</i> sp.) para feno, anteriormente milho ( <i>Zea mays</i> L.) ou soja no verão e no inverno azevém ou aveia ( <i>Avena</i> sp.); agrotóxicos; gado de corte 5 animais/ha; fertilizantes químicos e cama de aves.
	PD	19	Plantio no verão: soja; inverno: azevém; agrotóxicos; calagem; fertilizantes químicos e cama de aves.
	PE	9	Plantio de <i>Eucalyptus</i> spp.; gado de corte 5 animais/há.
Pinhalzinho	FN	-	Vegetação Secundária, transição entre FOM e FESD; com entrada de pessoas e/ou animais de produção.
	ILP	>5	Plantio no verão: pastagem, soja ou milho para silagem; inverno: aveia e azevém); agrotóxicos; calagem; gado de leite 8 animais/ha; fertilizantes químicos e cama de aves.
	PA	5 e 15	Pastagem no verão: capim sudão ( <i>Sorghum</i> sp.); inverno: aveia ou azevém; roçadas no verão quando os animais não comem toda a pastagem; rotação de piquetes no verão; anteriormente lavoura de soja e milho; calagem; gado de leite 8 a 10 animais/ha; fertilizantes químicos e cama de aves e suínos.
	PD	>5	Plantio no verão: soja, feijão ( <i>Phaseolus</i> sp.) ou milho; inverno: trigo ou adubação verde com aveia; Agrotóxicos; Calagem; fertilizantes químicos e cama de aves.
	PE	15	Plantio de <i>Eucalyptus</i> spp., desbaste realizado há 7 anos.
São Miguel do Oeste	CP	-	Vegetação espessa de gramíneas, com arbustos e árvores esparsas.
	FN	>50	Vegetação Secundária transição entre FOM e FESD; com entrada de pessoas.
	ILP	>5	Plantio no verão: soja ou milho; inverno: trigo, aveia ou pousio); gradagem e aração; agrotóxicos; calagem; gado de corte 50 animais; fertilizantes químicos e cama de aves.
	PA	5 e 15	Pastagem nativa com gado de corte 50 animais/ introduzida; cavalos e bezerros pastam durante a semana, 6 animais/ha; fertilizantes químicos e cama de aves.
	PD	>5	Plantio no verão: soja, feijão ou milho; Inverno: trigo, nabo, aveia ou pousio); agrotóxicos; Calagem; fertilizantes químicos e cama de aves.
	PE	16	Plantio de <i>Eucalyptus</i> spp. Com desbaste para fazer escoras.

Floresta nativa (FN); plantio de eucalipto (PE); pastagem (PA); capoeira (CP); integração lavoura-pecuária (ILP); plantio direto (PD).

A localização geográfica e condição da vegetação nas áreas no momento das coletas para cada janela da paisagem estão nos Apêndices B1, B2 e B3. Mapas com os pontos amostrados de cada janela são apresentados nos Anexos A, B e C; mapas das classes de solo das paisagens nos Anexos D, E e F, mapas da cobertura do solo G, H e I.

Figura 17 - Esquema da grade de amostragem utilizada para as coletas nas paisagens do Oeste de Santa Catarina.



Fonte: Elaborada pela autora com imagem do Google Earth, 2018.

As amostragens foram realizadas em duas épocas distintas. A “primeira coleta” foi em abril de 2018 (clima quente e seco), no início do outono e a “segunda coleta” em agosto do mesmo ano (clima frio e úmido), no inverno. De acordo com os dados meteorológicos do Centro de informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM, Epagri), para os municípios estudados no mês de abril estava mais quente e seco, com a temperatura média mensal de 22,48 °C e soma mensal das precipitações de 42,20 mm. No mês de agosto o clima estava mais frio e úmido, a temperatura média mensal foi de 14,64 °C e soma mensal das precipitações foi de 119,80 mm.

### 7.2.2 Amostragem e identificação da fauna edáfica

Para a coleta dos organismos da fauna do solo, utilizou-se o método de amostragem baseado no *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF) (ANDERSON; INGRAM, 1993) (Figura 17). Consiste na coleta de monólitos de solo de 25 x 25 cm de lado e 20 cm de profundidade, com auxílio de um marcador constituído de chapas de ferro galvanizadas, onde os organismos da fauna do solo visíveis a olho nu foram triados e separados manualmente.

Também foram utilizadas para a amostragem, as armadilhas de queda, constituídas por recipientes cilíndricos de 8 cm de diâmetro, com capacidade volumétrica de 500 mL, contendo 200 mL de solução detergente a 0,5% (v/v) e enterrados no solo com sua extremidade vazada nivelada com a superfície do solo, mantidos por três dias no campo (BARETTA et al., 2014). Em seguida, as amostras foram lavadas em peneira de 150 µm e armazenadas em álcool etílico 70% para posterior identificação. Posteriormente, os organismos foram identificados em nível de grandes grupos taxonômicos (Classe, Ordem e Subordem), com auxílio de uma lupa ZEISS (microscópio estereoscópico), modelo Stemi 2000-C.

### **7.2.3 Amostragem e análises do solo e serapilheira**

Foi coletado solo e serapilheira, nas duas épocas de coleta para análises físicas, químicas e microbiológicas (Apêndice B4). A coleta do solo para as análises químicas e microbiológicas foi realizada na profundidade de 0-10 cm com trado holandês, amostrando-se 18 pontos ao redor de cada local de coleta, para formar uma amostra composta representativa (Figura 17). Os atributos químicos pH, pH em solução SMP (pH SMP), acidez potencial (H+Al), Fósforo (P), Potássio (K), Matéria orgânica (MO), Alumínio (Al), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Capacidade de troca de cátions (CTC), carbono orgânico (CO), argila, soma de bases (Bases) foram determinados de acordo com Tedesco et al. (1995). O carbono total do solo (C-Solo), o nitrogênio total do solo (N-Solo) foram determinados por combustão no multi N/C 2100 e Analytik (TOC). Com base nos dados de C-Solo e N-Solo foi calculada a relação Carbono/Nitrogênio do solo (C/N-Solo).

As amostras para as análises físicas foram retiradas com cilindros de aço de 5 cm de altura e 6 cm de diâmetro (indeformadas), sendo analisadas, densidade do solo (DS), porosidade total (PT), microporosidade (Micro), macroporosidade (Macro), bioporos (Bio), espaço de aeração (Ea); umidade volumétrica (Umi-V) seguindo Manual da Embrapa (CLAESSEN, 1997). A resistência a penetração (RPenB) foi avaliada por meio de penetrômetro de bancada Marconi® modelo MA-933, em amostras com umidade estável na tensão de 10 kPa. As

medidas de condutividade hidráulica saturada (CHS) foram feitas em um aparelho de condutividade e registradas no software Ksat 2008.

Também foi coletado solo na profundidade de 0-10 cm com uma pá de corte, retirando uma amostra com torrões em cada ponto, para avaliar a estabilidade de agregados, por meio do diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) (KEMPER; CHEPIL, 1965). Além disso, foram determinadas a resistência do solo à penetração à campo (RPen), utilizando um penetrômetro eletrônico (Penetrolog – PLG1020) e umidade do solo (Umi-H) com um medidor eletrônico de umidade (Hidrofarm – HFM1010).

Para as análises dos atributos microbiológicos ligados a dinâmica do carbono no solo, foi determinado o carbono da biomassa microbiana (C-Mic), pelo método de extração-fumigação (VANCE et. al, 1987). A atividade microbiana foi avaliada pela determinação da respiração basal microbiana (R-Mic) (ALEF; NANNIPIERI, 1995).

Para a serapilheira foram retiradas amostras de quatro locais ao redor de cada ponto de coleta com um amostrador de madeira de 20 cm × 20 cm e posteriormente peneirada em malha de 2 mm para a separação do solo. Para separar as partículas finas do solo foi realizada peneiragem úmida em malha de 150 µm. Posteriormente o material foi seco em estufa a 55 °C até peso constante, para a determinação do peso seco da liteira (PS-Lit). O carbono total da liteira (C-Lit), o nitrogênio total da liteira (N-Lit) foram determinados por combustão no multi N/C 2100, Analytik (TOC).

#### **7.2.4 Análise dos dados**

##### *Abundância, riqueza e ocorrência da fauna do solo*

Para a realização das análises foram utilizadas matrizes contendo as abundâncias dos dois métodos de amostragem juntos (monólitos de solo e armadilhas de queda), por época de coleta. Essa forma de utilização dos dados já foi descrita em outros estudos (POMPEO et al., 2016b; POMPEO et al., 2017; ALEXANDRE, 2019). Para verificar as diferenças significativas da abundância e riqueza de grupos taxonômicos da fauna do solo entre os usos amostrados nas paisagens do Oeste de Santa Catarina, realizou-se análise não-paramétrica de Kruskal-Wallis. Optou-se por essa análise devido aos dados serem valores inteiros, de contagem e não apresentarem resíduos normalmente distribuídos mesmo após transformações. Foram utilizados os dados de abundância transformados em  $\log(x+1)$  para as análises e o gráfico para melhor ajuste e visualização. As avaliações das abundâncias e riquezas foram realizadas no *software*

STATISTICA 10 (STATSOFT, 2011). A partir da matriz de presença e ausência foi verificada a ocorrência dos táxons amostrados por uso do solo e época de coleta.

#### *Dissimilaridade das comunidades de fauna do solo entre os usos da terra*

Foram realizadas *Principal Coordinates Analysis* (PCoA), considerando os usos do solo como fatores, com base na matriz de similaridade após transformação dos dados de abundância em  $\log(x+1)$  e a aplicação do índice de Bray-Curtis, para visualizar a dissimilaridade da comunidade de fauna edáfica em cada época de coleta. Para verificar as diferenças estatísticas entre os SUS foram realizadas *Permutational Multivariate Analysis of Variance* (PERMANOVA), também com base no índice de Bray-Curtis da matriz de dados de abundância transformados (com 999 permutações) utilizando os SUS como efeito fixo e as janelas da paisagem como efeito aleatório. O Efeito aleatório considera que os dados estão agrupados em paisagens, cujo efeito sobre a variável resposta não interessa diretamente, mas sua variação estimada é incluída na avaliação do efeito fixo. Nesta análise o objetivo é avaliar a dissimilaridade entre os usos do solo, com comparações múltiplas *a posteriori*. As análises foram realizadas no *software* PRIMER 6 (CLARKE & GORLEY, 2005).

#### *Influência das variáveis espaciais e ambientais na composição da fauna do solo*

Com o objetivo de avaliar a similaridade na composição de espécies relacionada as variáveis ambientais explicativas e variáveis espaciais e verificar quais atributos podem justificar a dissimilaridade observada na comunidade da fauna do solo, foi realizado o particionamento das variâncias das *Principal coordinates of neighbour matrices* (PCNM). Nesta análise são definidas frações de explicação da variância da matriz de dados biológicos utilizando conjuntos de dados espaciais (autofunções espaciais da PCNM calculadas a partir das coordenadas UTM) e ambientais (atributos do solo e paisagem). Para esses cálculos foram utilizadas as porcentagens da variação explicada ajustada e o método utilizado foi *Redundancy Analysis* (RDA), pois os dados de resposta apresentaram um gradiente com comprimento de 1,9 unidades de desvio padrão na primeira coleta e 1,5 na segunda coleta, portanto, o método linear é recomendado (ter BRAAK & SMALAUER, 2012).

Essa variação explicada ajustada correspondente ao  $R^2$  ajustado computado em regressão linear, sendo recomendada para particionamento de variação, pois a porcentagem normalmente calculada da variação explicada não representa uma estimativa imparcial do valor estatístico amostral da população e é superestimada quanto mais próximo o número de

parâmetros do modelo for do número de observações independentes (ŠMILAUER; LEPŠ, 2014). No particionamento da variância das PCNMs, as janelas da paisagem foram consideradas como covariáveis (variáveis preditoras com seus efeitos sobre a variáveis de resposta reconhecidas, mas não de interesse principal), para então ser possível medir as relações de interesse das variáveis explicativas com as variáveis resposta. As variáveis explicativas significativas ( $p \leq 0,05$ ), corrigidas por *False Discovery Rate* (FDR), foram selecionadas por *forward selection*, assim como as variáveis espaciais, sendo eliminadas variáveis colineares e não significativas, utilizando o software CANOCO 5.0 (ter BRAAK & SMALAUER, 2012).

#### *Relação das variáveis ambientais com a fauna do solo*

Os gráficos que demonstram o efeito condicional das variáveis ambientais nos táxons da fauna do solo, foram gerados a partir da partição das variâncias da PCNM. Estes, foram utilizados para sumarizar a variação na composição da comunidade da fauna explicada pelas variáveis ambientais na RDA, depois de contabilizar o efeito espacial. Nesse sentido, a variação dos dados explicadas pelos eixos 1 e 2, nas ordenações, demonstram unicamente o efeito das variáveis ambientais sobre a composição da fauna do solo. As amostras por sistema de uso do solo foram plotadas para auxiliar na interpretação e discussão. Para essas análises foi utilizado o software CANOCO 5.0 (ter BRAAK & SMALAUER, 2012).

Os símbolos que representam as amostras por SUS nos gráficos, foram demonstrados apenas com o intuito de visualizar onde os grupos da fauna estão distribuídos, pois o objetivo principal é verificar a relação dos táxons com as variáveis ambientais. É importante destacar que a distância entre os símbolos das amostras, que representam os usos, se aproxima da dissimilaridade de sua composição de espécies, medida pela distância euclidiana. Contudo, segundo a interpretação gerada pelo programa estatístico CANOCO onde foi calculada, essa aproximação não é ótima, porque a escala dos *scores* não está focada nas distâncias entre as amostras, como ocorre nas projeções da PCoA da Figura 20.

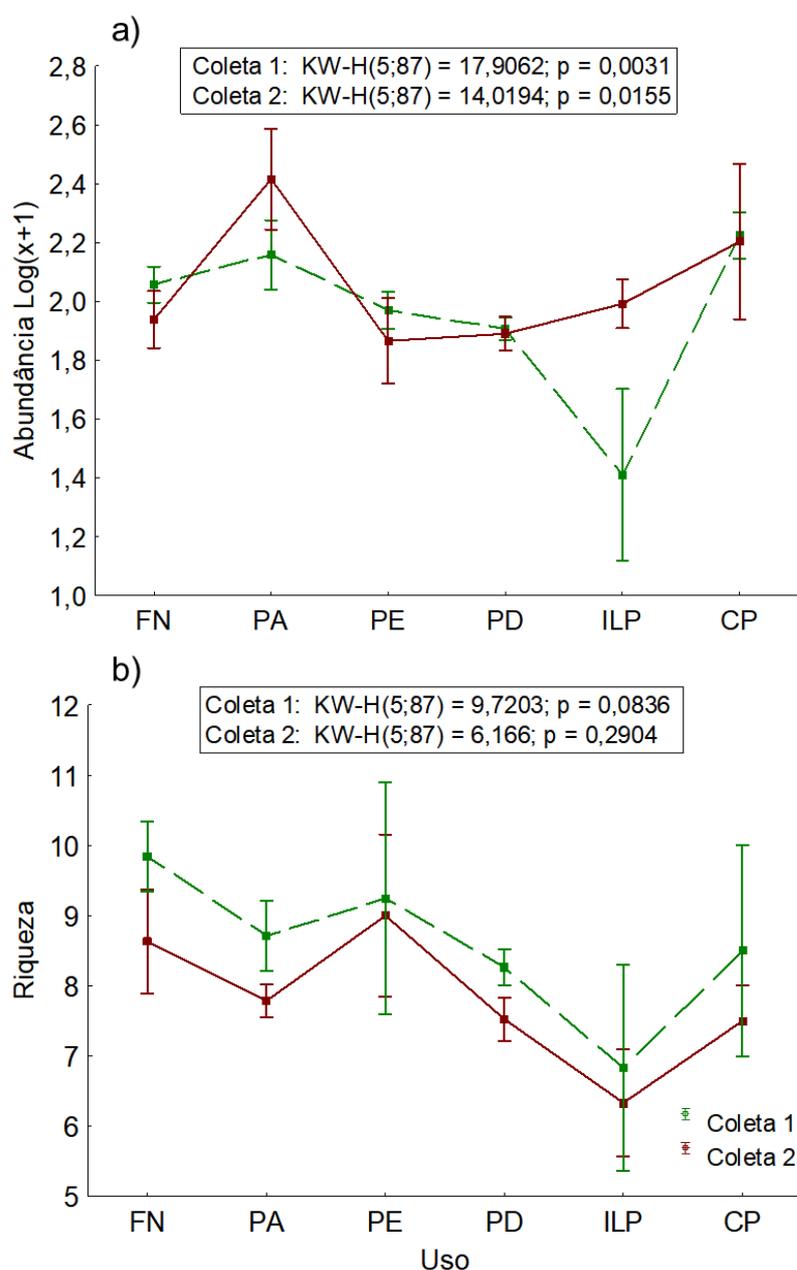
### 7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### **7.3.1 Abundância, riqueza e ocorrência de táxons da fauna do solo em paisagens agrícolas**

Foram amostrados 11.364 invertebrados da fauna do solo na primeira coleta e 31.106 na segunda coleta, sendo identificados 24 grupos taxonômicos nas paisagens do Oeste de Santa Catarina (Apêndices B4 e B5). De acordo com os resultados de abundância apresentados na

Figura 18, ocorreram diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre os usos do solo, tanto na primeira quanto na segunda coleta. Na comparação aos pares da primeira coleta, foram observadas diferenças significativas entre ILP e FN ( $p = 0,036$ ) e entre ILP e PA ( $p = 0,008$ ). Na segunda coleta, foram verificadas diferenças somente para os valores de abundância entre PD e PA ( $p = 0,007$ ).

Figura 18 – Média e erro padrão da abundância ( $\log x+1$ ) (a) e riqueza (b) da fauna edáfica em floresta nativa (FN), pastagem (PA), plantio de eucalipto (PE), plantio direto (PD), integração lavoura-pecuária (ILP) e capoeira (CP), amostrados nas paisagens do Oeste de Santa Catarina, amostrados na primeira (coleta1) e segunda (coleta 2) coletas.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020. Teste Kruskal-Wallis  $p \leq 0,05$  (KW).

As diferenças observadas para abundância na primeira coleta (Figura 18a), podem ter ocorrido devido as condições da vegetação nas áreas, no momento da amostragem. Nos apêndices B1, B2 e B3, é possível visualizar que nas áreas de ILP a colheita da cultura agrícola havia sido realizada recentemente, restando apenas a cobertura de resíduos vegetais no solo. Quanto a diferença observada na segunda coleta entre PA e PD, não demonstra ser decorrente de solo sem cobertura vegetal nas áreas, essa condição pode estar associada a outros fatores como as variáveis do solo.

Bartz et al. (2014), também verificaram diferença das abundâncias da fauna do solo entre os usos FN e ILP no inverno, na região Oeste Catarinense. Entretanto a maior abundância ocorreu em ILP, diferente do resultado observado na Figura 18a. Os autores também demonstraram resultado semelhante ao do presente estudo no verão, onde as abundâncias de PD e PA foram diferentes.

De acordo com os resultados de riqueza, não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ), entre os usos do solo, nas duas coletas (Figura 18b). Observando estes resultados, apesar de não ter ocorrido diferença estatística, percebe-se que os maiores valores médios de riquezas ocorreram em FN, PA e PE. Além disso, as médias mais elevadas de riqueza foram observadas na primeira coleta, mesmo sendo a amostragem com menor abundância de indivíduos, devido as condições de solo seco (Apêndice B4).

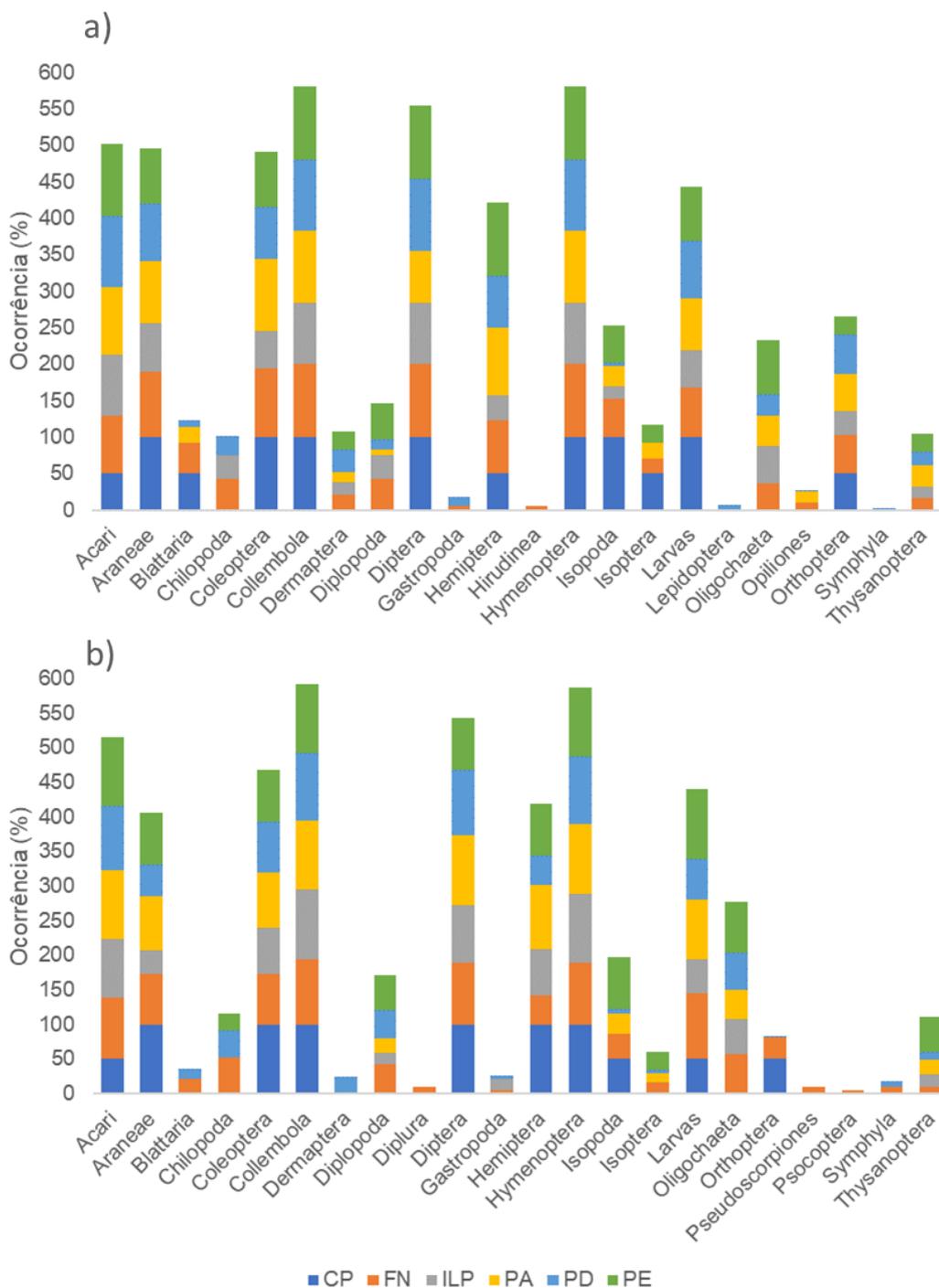
Ao observar a ocorrência dos grupos da fauna do solo nos fragmentos dos usos da terra amostrados nas paisagens na primeira coleta, os que apresentaram ocorrência em todos os usos foram Acari, Araneae, Coleoptera, Collembola, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Isopoda e Orthoptera (Figura 19a). Na segunda coleta os táxons com ocorrência em todos os usos foram Acari, Araneae, Coleoptera, Collembola, Diptera, Hemiptera e Hymenoptera (Figura 19b).

Os grupos Diplopoda, Oligochaeta e Thysanoptera não ocorreram no uso CP nas duas épocas de coleta. Os táxons Hirudinea, Lepidoptera e Opiliones foram amostrados apenas na primeira coleta, sendo que Hirudinea ocorreu apenas em FN, Lepidoptera apenas em PD e Opiliones em FN, PA e PD. Os táxons encontrados exclusivamente na segunda coleta foram Diplura, Pseudoscorpiones e Psocoptera, que ocorreram apenas em FN.

Esse resultado pode indicar a maior capacidade de dispersão ou ampla distribuição dos grupos da meso e macrofauna do solo, Acari, Araneae, Coleoptera, Collembola, Diptera, Hemiptera e Hymenoptera, independente do SUS. Ou ainda, que esses grupos taxonômicos apresentam maior tolerância fisiológica em relação ao filtro ambiental de mudança do uso do solo e cobertura vegetal. Nesse sentido, esses táxons apresentam a habilidade de se locomoverem e/ou se manterem entre os diferentes fragmentos da paisagem, favorecendo o

fluxo com as áreas adjacentes e a manutenção das funções desempenhadas por eles no ecossistema.

Figura 19 - Ocorrência de grupos taxonômicos da fauna do solo em capoeira (CP); floresta nativa (FN), integração lavoura-pecuária (ILP), pastagem (PA), plantio de eucalipto (PE) e plantio direto (PD), amostrados nas paisagens do Oeste de Santa Catarina, na primeira (a) e segunda (b) coletas.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Bartz et al. (2014), estudaram a fauna do solo, coletada por *pitfall-traps*, nos usos floresta nativa, reflorestamento de eucalipto, pastagem, integração lavoura-pecuária e plantio direto na região Oeste de Santa Catarina, nas estações de inverno e verão. Assim como no presente estudo, esses autores encontraram os grupos Acari, Coleoptera, Collembola, Araneae e Hymenoptera em todos os sistemas de uso do solo amostrados.

Silva et al. (2018), em pesquisa realizada em uma paisagem do Cerrado brasileiro, durante a estação chuvosa, também verificaram a ocorrência dos grupos Acari, Araneae, Coleoptera e Hymenoptera em todos os usos e manejos estudados (Milheto, Milho, Soja, Eucalipto, Pastagem, Cerrado preservado e Cerrado perturbado). A coleta da fauna do solo foi realizada por *pitfall traps*, e apenas o grupo Collembola não ocorreu em todos os sistemas, não sendo observado na Pastagem. Esses estudos contribuem para reforçar a importância desses grupos de invertebrados edáficos em diferentes ecossistemas terrestres e corroboram com os resultados da Figura 19.

Os resultados demonstrados, confirmam a hipótese (i) levantada. Há variação na abundância e ocorrência da fauna edáfica nos fragmentos de usos do solo das paisagens agrícolas do Oeste de Santa Catarina, na primeira e segunda coletas. Contudo, não houve variação na riqueza.

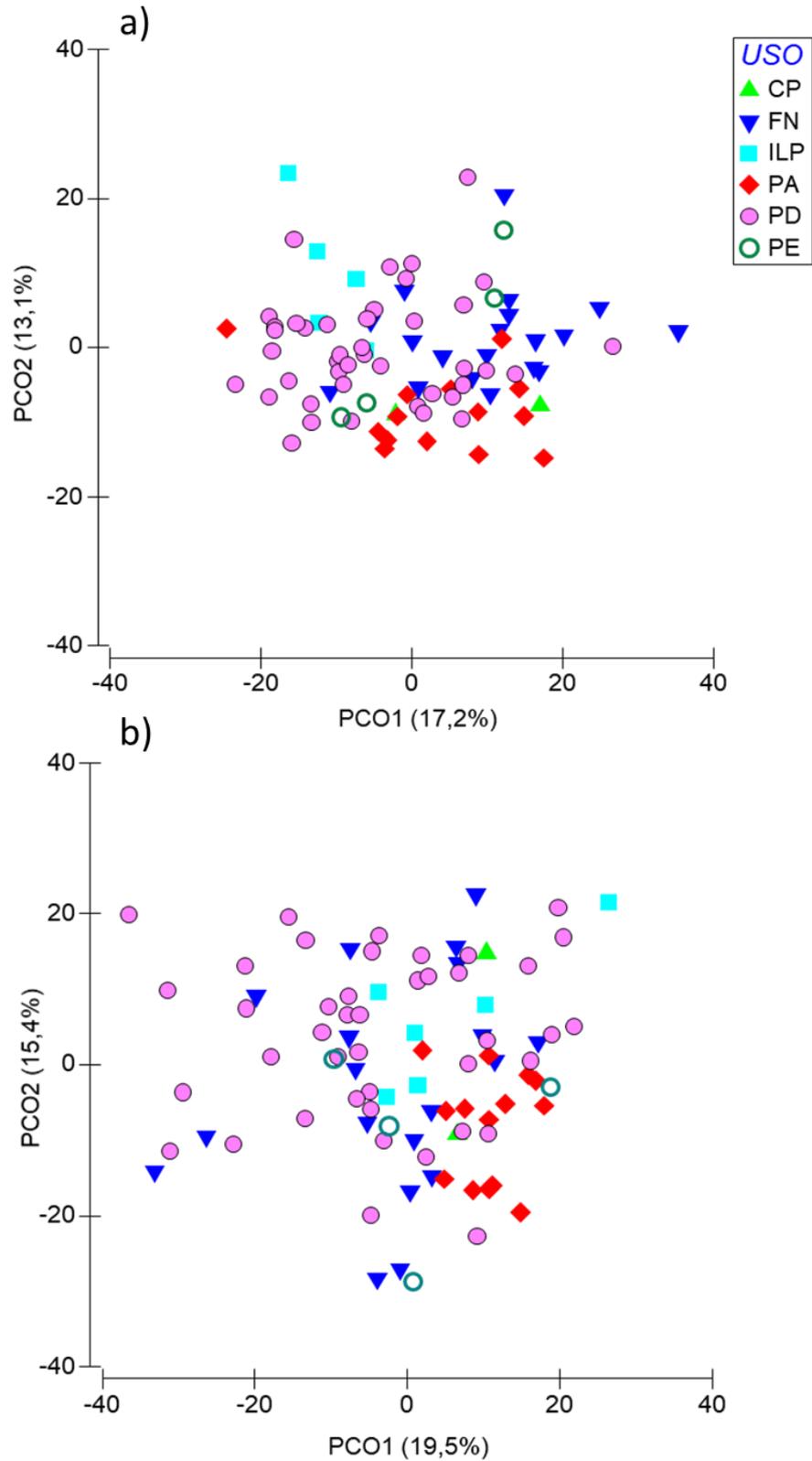
### 7.3.2 Dissimilaridade das comunidades de fauna do solo entre os usos do solo

O resultado da PCoA da primeira coleta, demonstrou que o eixo da Coordenada Principal 1 (PCO1) representa 17,2% da variação dos dados de dissimilaridade da comunidade da fauna do solo entre as amostras e a PCO2 representa 13,1% (Figura 20a), totalizando 30,3% da variabilidade total dos dados. Visualmente as amostras classificadas por usos do solo não ficaram completamente dissimilares na ordenação.

Observando os usos ILP e PD, percebe-se que estes ficaram mais posicionados para o lado esquerdo da ordenação, demonstrando maior similaridade entre si e dissimilaridade com o restante das amostras. A FN ficou mais para a direita e afastada principalmente de ILP. Além disso, o uso PA aparenta estar agrupado e afastado do uso ILP.

Na PCoA da segunda coleta, o eixo da PCO1 explicou 19,5% da variação dos dados de dissimilaridade da comunidade da fauna edáfica e o eixo da PCO2 explicou 15,4%, totalizando 35% da variabilidade total dos dados (Figura 20b). Nesta figura os usos FN, ILP, PD, PE e CP apresentaram maior similaridade entre si. O uso PA demonstrou maior agrupamento do lado esquerdo da ordenação e está mais afastado dos usos ILP e PD.

Figura 20 - Análise de coordenadas principais da dissimilaridade da fauna edáfica com base no coeficiente de Bray-Curtis, em capoeira (CP), floresta nativa (FN), integração lavoura-pecuária (ILP), pastagem (PA), plantio direto (PD) e plantio de eucalipto (PE), das paisagens do Oeste de Santa Catarina, na primeira (a) e segunda (b) coletas.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Para verificar se há dissimilaridade significativa entre os usos do solo foram realizadas análises de PERMANOVA, cujos resultados podem ser verificados na Tabela 16. De acordo com os resultados apresentados na Tabela 16, houve diferenças significativas na primeira coleta das comunidades de fauna do solo entre os usos do solo, entre Janelas da paisagem e na interação SUS  $\times$  Janela da Paisagem. Na segunda coleta, as diferenças foram observadas entre usos e entre janelas da paisagem, mas não apresentou resultado significativo na interação SUS  $\times$  Janela, ou seja, as diferenças observadas entre usos de cada janela da paisagem não são significativamente diferentes entre as janelas da paisagem.

Tabela 16 - PERMANOVA da comunidade de fauna do solo com base no coeficiente de Bray-Curtis, para sistemas de uso do solo (SUS) como fatores fixos e Janelas da Paisagem como aleatórios, do Oeste de Santa Catarina na primeira e segunda coleta.

<b>Parâmetro</b>	<b>df</b>	<b>Pseudo-F</b>	<b>p value</b>	<b>Permutações</b>	<b>p (Monte-Carlo)</b>
<b>Primeira Coleta</b>					
<b>SUS</b>	5	2,0276	0,004	997	0,002*
<b>Janela</b>	2	2,0148	0,059	998	0,010*
<b>SUS x Janela da Paisagem</b>	9	1,6224	0,048	993	0,003*
<b>Resíduo</b>	70				
<b>Total</b>	86				
<b>Segunda Coleta</b>					
<b>SUS</b>	5	1,7835	0,046	998	0,015*
<b>Janela</b>	2	2,6885	0,001	998	0,001*
<b>SUS x Janela da Paisagem</b>	9	1,24	0,087	997	0,104
<b>Resíduo</b>	70				
<b>Total</b>	86				

Diferença significativa  $p \leq 0,05$  (\*).

Na comparação aos pares do fator com efeito aleatório das janelas da paisagem, na primeira coleta, houve diferença significativa de acordo com o teste de Monte-Carlo ( $p \leq 0,05$ ) apenas entre São Miguel do Oeste e Chapecó. Na segunda coleta, a comunidade da fauna edáfica a paisagem de São Miguel do Oeste é diferente de Chapecó e Pinhalzinho.

Como houve interação significativa entre SUS e Janelas na primeira coleta, as comparações aos pares de SUS foram realizadas em cada Janela da paisagem, sendo que em Chapecó a comunidade da fauna edáfica da FN foi significativamente dissimilar de três usos do solo, ILP ( $p = 0,009$ ), PA (0,038) e PD ( $p = 0,001$ ). Em São Miguel do Oeste as diferenças foram observadas entre ILP e PD ( $p = 0,01$ ) e entre PA e PD ( $p = 0,024$ ). A janela da paisagem de Pinhalzinho foi a que apresentou mais diferenças, sendo FN diferente de PA ( $p = 0,011$ ) e PD ( $p = 0,005$ ), ILP diferente de PA ( $p = 0,027$ ) e PA diferente de PD (0,001).

Ao observar a comparação aos pares apenas no fator SUS, da primeira coleta, é possível visualizar diferenças significativas entre FN e PA ( $p = 0,013$ ), entre FN e PD ( $p = 0,018$ ), também entre PA e PD ( $p = 0,017$ ) (Tabela 17).

Na PERMANOVA da segunda coleta não foi observada interação significativa entre SUS  $\times$  Janela da Paisagem, sendo assim, as comparações aos pares podem ser avaliadas apenas entre os níveis do fator SUS (Tabela 17). Contudo, foi encontrada diferença significativa apenas entre PA e PD (0,004). Esses resultados reforçam o que foi observado na Figura 20.

Tabela 17 - Comparações aos pares entre sistemas de uso do solo (SUS) da PERMANOVA da comunidade da fauna do solo, nas duas coletas realizadas nas paisagens do Oeste de Santa Catarina.

SUS	Primeira Coleta		Segunda Coleta	
	t	p (Monte-Carlo)	t	p (Monte-Carlo)
CP, FN	1,161	0,340	1,017	0,489
CP, ILP	1,289	0,309	0,939	0,551
CP, PA	0,857	0,672	0,721	0,769
CP, PD	1,160	0,372	0,834	0,649
CP, PE	1,246	0,362	1,418	0,258
FN, ILP	1,310	0,169	1,274	0,191
FN, PA	1,931	0,013*	1,539	0,098
FN, PD	1,879	0,018*	1,066	0,385
FN, PE	0,961	0,526	1,007	0,455
ILP, PA	1,476	0,125	1,411	0,138
ILP, PD	1,094	0,362	0,935	0,565
ILP, PE	0,926	0,482	1,546	0,117
PA, PD	1,887	0,017*	2,364	0,004*
PA, PE	0,775	0,715	0,983	0,489
PD, PE	0,782	0,755	1,430	0,121

Diferença significativa  $p < 0,05$  (\*). Plantio de eucalipto (PE); plantio direto (PD); pastagem (PA); integração lavoura-pecuária (ILP); floresta nativa (FN); capoeira (CP).

As dissimilaridades encontradas da FN com PA e PD em duas paisagens na primeira coleta, podem ser decorrentes da condição da estrutura vegetal dos diferentes ecossistemas, que contribui para regular o microclima (ROSA et al., 2019). Onde, a FN pode ser mais favorável para manter maior umidade e temperatura amena abaixo do dossel, quando comparado com os outros usos. Os resultados das duas coletas realizadas, demonstraram dissimilaridades entre PA e PD, indicando que a diferença se manteve independente das variações de temperatura e umidade entre os períodos de amostragens. Nesse sentido, a dissimilaridade observada pode ser decorrente de outras variáveis ambientais, como a cobertura vegetal, atributos químicos, físicos ou microbiológicos do solo. Confirmando a hipótese (ii) levantada, demonstrando que ocorreram dissimilaridades das comunidades de fauna do solo entre os usos do solo.

### 7.3.3 Influência das variáveis espaciais e ambientais na composição da fauna do solo

Na partição da variância da PCNM, a explicação da variação ajustada das variáveis ambientais e espaciais significativas juntas, sobre a comunidade de fauna do solo, foi 14,3% tanto na primeira coleta, quanto na segunda (Figura 21a, b). O restante da variação (85,7%), se deve a outros fatores, não explicados pelas variáveis selecionadas na análise.

A fração das variáveis ambientais significativas na primeira coleta explicam 7,1% da variação na comunidade de fauna do solo; já as variáveis espaciais explicam 4,6%; e 2,6% é explicado pela interação, ou seja, o efeito conjunto das variáveis ambientais e espaciais (Figura 21, a). Os valores dos testes das RDAs que demonstraram significância das frações foram  $F = 2,4$  e  $p = 0,002$  (variáveis ambientais + espaciais),  $F = 2,8$  e  $p = 0,002$  (variáveis ambientais),  $F = 2,3$  e  $p = 0,002$  (variáveis espaciais).

Na segunda coleta, a fração das variáveis ambientais significativas explicaram 8,6% da variação dos dados; 4% é explicado pela fração espacial e 1,7% é a variação explicada pelo efeito conjunto das variáveis ambientais e espaciais (Figura 21, b). Os valores dos testes das RDAs foram,  $F = 2,4$  e  $p = 0,001$  (variáveis ambientais + espaciais),  $F = 2,6$  e  $p = 0,001$  (variáveis ambientais),  $F = 2,3$  e  $p = 0,001$  (variáveis espaciais).

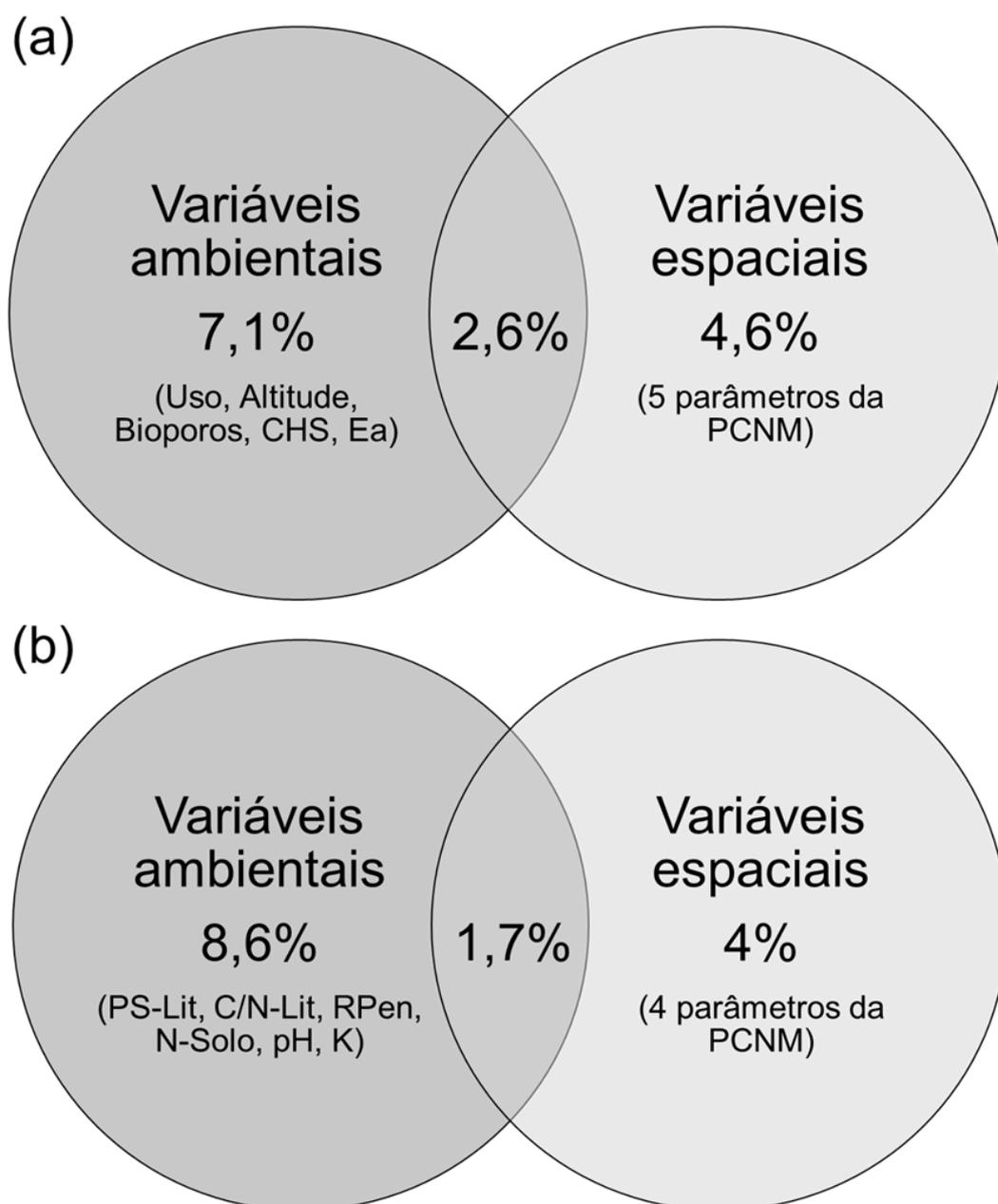
Ao observar a partição das variâncias para a primeira coleta percebe-se a participação do uso do solo. Sendo assim, deve-se levar em consideração que as paisagens são compostas por distintos fragmentos de SUS, que foram amostrados em proporções diferentes dependendo da configuração da paisagem.

No caso das paisagens do Oeste de Santa Catarina, o sistema PD ocupava a maior área nas janelas amostradas e recebeu maior amostragem. Essa condição, da maior participação do PD, junto com as dissimilaridades entre os usos é importante de ser levantada, pois faz parte da heterogeneidade das paisagens e influencia a composição da fauna do solo. Essas condições do PD nas paisagens estudadas, já foram demonstradas, onde esse uso demonstrou maior área total, maior percentual da paisagem e índice de maior fragmento nas três janelas das paisagens avaliadas (ALEXANDRE, 2019).

Além disso, ficou evidente a influência de atributos físicos do solo na primeira coleta, diferente da segunda, onde teve a participação dos atributos da serapilheira e químicos do solo. Isso pode estar relacionado as diferentes condições de clima e vegetação entre os dois períodos de amostragem e ao nicho ecológico dos indivíduos que compõem as comunidades. O efeito do

clima e vegetação sobre a fauna do solo, tem sido observado por outros autores, em diferentes regiões do país (BARTZ et al., 2014; CAMARA et al., 2018; POMPERMAIER et al., 2020).

Figura 21 – Fração da variação explicada ajustada das variáveis ambientais e espaciais na comunidade da fauna do solo pela partição da variância da PCNM, utilizando as janelas da paisagem como covariáveis, na primeira (a) e segunda (b) coletas.



Fonte: Elaborada pela autora. Condutividade hidráulica saturada (CHS); espaço de aeração (Ea); peso seco da liteira (PS-Lit); relação Carbono e Nitrogênio da liteira (C/N-Lit); resistência a penetração (RPen); Nitrogênio do solo (N-Solo), potencial hidrogeniônico (pH).

Os resultados expostos na Figura 21, confirmam a hipótese (iii) de que há influência tanto de variáveis espaciais quanto ambientais na composição da fauna do solo presente nas

paisagens estudadas. Essa influência demonstrou ser maior das variáveis ambientais do que das espaciais, sendo que na segunda coleta foi o dobro da porcentagem.

#### **7.3.4 Relação das variáveis ambientais com a composição da fauna do solo**

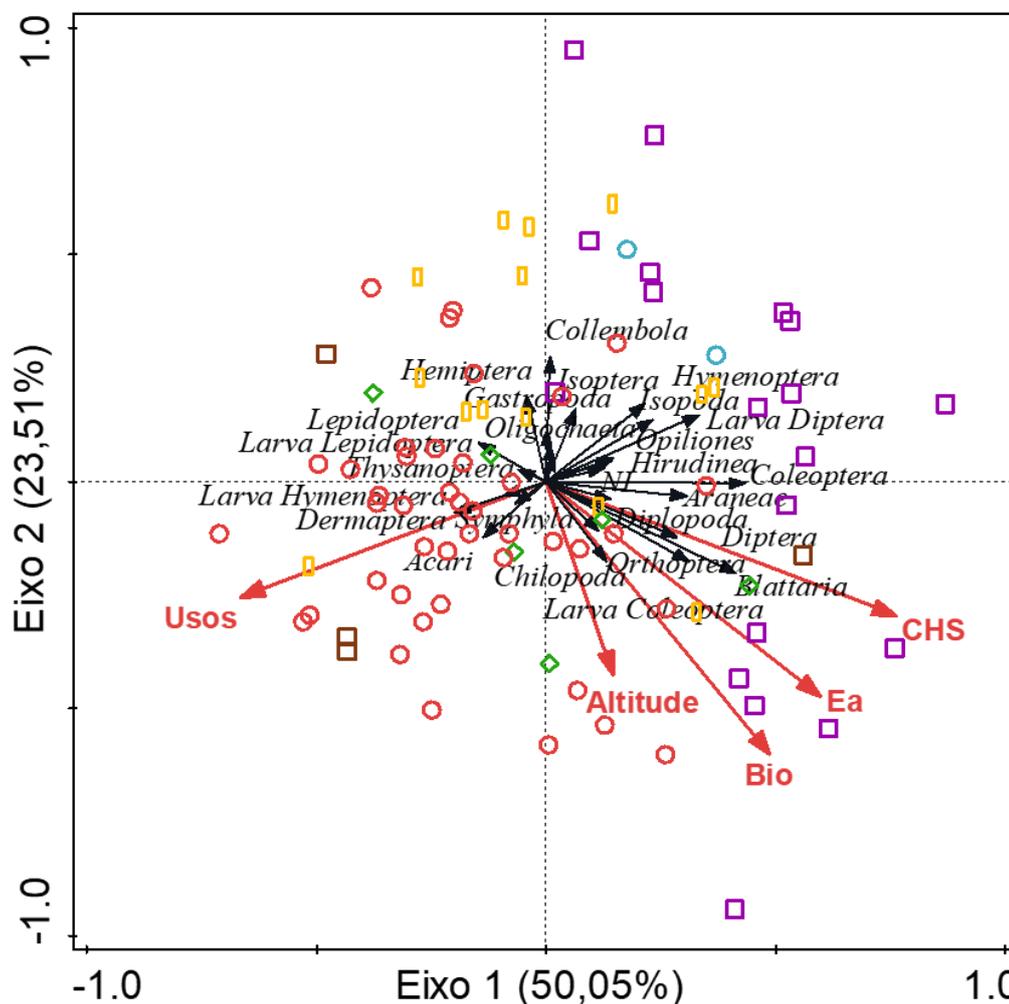
Considerando a porcentagem da fração explicada pelas variáveis ambientais na primeira coleta (Figura 21a), observou-se que 50,05% dessa parcela é explicado pelo eixo um e 23,51% pelo eixo dois, totalizando 73,56% da variação total (Figura 22). Nesta figura é demonstrada exclusivamente a relação dos atributos significativos avaliados com a composição dos grupos taxonômicos da fauna do solo.

As variáveis Altitude, Bio, Ea e CHS demonstraram relação aproximada com Chilopoda, Larva de Coleoptera, Orthoptera, Blattaria, Diplopoda, Diptera, Araneae e Coleoptera, grupos que foram mais abundantes nas amostras de FN (FN aparece com maior número de pontos projetados próximos a esses táxons). Além disso, evidenciou-se correlação negativa com Lepidoptera, Larva de Lepidoptera e Hemiptera, sendo esses grupos mais associados aos usos PA e PD. A variável Usos apresentou relação com Larva de Hymenoptera, Acari e Dermaptera, grupos mais abundantes em PD, uso representado pelo maior número de amostras do estudo; e correlação negativa com Hirudinea, Opiliones, Larva de Diptera, Isopoda e Hymenoptera, grupos mais abundantes em FN (Figura 22).

A relação da variável Altitude com a comunidade da fauna edáfica é interessante quando se analisa o contexto da paisagem, considerando que as janelas amostradas no Oeste de Santa Catarina apresentam relevo acidentado, pois o relevo é um importante fator na formação do solo e condiciona os fluxos de água verticais e horizontais. Sendo assim, os processos que ocorrem nos locais mais elevados podem afetar as partes mais baixas da paisagem, que geralmente acabam retendo mais umidade e depositam materiais provenientes das partes mais altas, entre outros aspectos que conseqüentemente podem alterar os atributos físicos, químicos e biológicos do solo de forma diferenciada ao longo da paisagem.

Portanto, alguns grupos da fauna podem ser favorecidos ou prejudicados em altitudes mais baixas como na posição do pedimento ou da planície aluvial das paisagens, que podem apresentar diferenças na fertilidade do solo e umidade. Neto et al. (2018), ao avaliarem a fauna do solo em diferentes seções do relevo em área de plantio de *Eucalyptus urophylla*, no Rio de Janeiro, verificaram maior número de grupos taxonômicos nas seções topográficas mais elevadas do relevo. Os autores concluíram que as diferenças observadas entre as seções topográficas, foram influenciadas pela umidade e a fertilidade do solo.

Figura 22 - Diagrama da variação na composição de táxons da fauna do solo explicada por variáveis ambientais após contabilizar os efeitos espaciais na partição da variância da PCNM, utilizando as janelas das paisagens do Oeste de Santa Catarina como covariáveis, na primeira coleta.

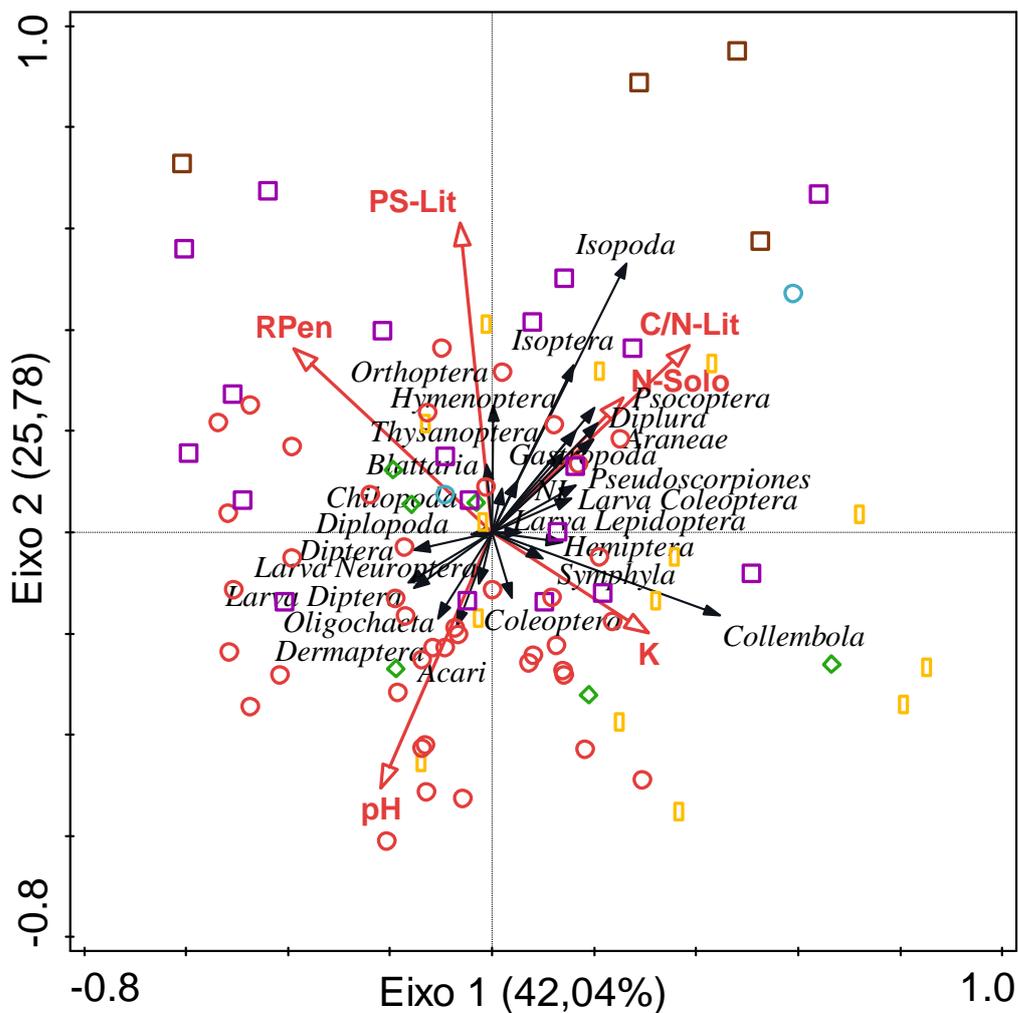


Fonte: Elaborada pela autora. Bioporos (Bio); espaço de aeração (Ea); condutividade hidráulica saturada (CHS); não identificado (NI); capoeira (○); floresta nativa (□); integração lavoura-pecuária (◇); pastagem (□); plantio direto (○); plantio de eucalipto (□).

As variáveis Bio, Ea e CHS estão bastante relacionadas com a maior porosidade do solo e a menor compactação, condições que podem ser consequência das atividades da fauna do solo, principalmente grupos da meso e macrofauna que constroem túneis e galerias no interior do solo, além de transportar solo e material orgânico. Contudo, esses atributos também podem favorecer alguns táxons que preferem solos menos compactados e com espaços porosos mais oxigenados, que possibilitam seu melhor desenvolvimento. Rosa et al. (2015), também observaram a relação da macrofauna do solo com a variável bioporos, ao avaliar diferentes usos do solo no Planalto de Santa Catarina.

As variáveis ambientais significativas que explicam a distribuição da fauna do solo na segunda coleta foram RPen, PS-Lit, N-Solo, C/N-Lit, K e pH (Figura 23). Da porcentagem observada na Figura 21b para essas variáveis, 42,04% da variação é explicado pelo eixo um e 25,78% pelo eixo dois, totalizando 67,76% da variação dos dados. O atributo pH ficou mais associado a Acari, Dermaptera, Diptera, Larva de Diptera, Oligochaeta e Larva de Neuroptera, sendo que as amostras de PD foram plotadas próximas a esses grupos indicando maior associação com esse uso; e apresentou correlação negativa com alguns grupos a exemplo de Isopoda, Isoptera, e Gastropoda (Figura 23).

Figura 23 - Diagrama da variação na composição de táxons da fauna do solo explicada por variáveis ambientais após contabilizar os efeitos espaciais na partição da variância da PCNM, utilizando as janelas das paisagens do Oeste de Santa Catarina como covariáveis, na segunda coleta.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020. Resistência a penetração (RPen); peso seco liteira (PS-Lit); Nitrogênio do solo (N-Solo); relação Carbono e Nitrogênio da liteira (C/N-Lit); não identificado (NI); capoeira (○); floresta nativa (□); integração lavoura-pecuária (◇); pastagem (□); plantio direto (○); plantio de eucalipto (□).

A variável K demonstrou relação mais aproximada com Coleoptera, Symphyla, Collembola, e Hemiptera com alguns pontos de PD, ILP e PA projetados próximos. A variável RPen não apresentou relação positiva evidente com nenhum grupo da fauna do solo, apresentou correlação negativa principalmente com Symphyla e Collembola.

As variáveis N-Solo e C/N-Lit, ficaram mais relacionados com os grupos Araneae, Isoptera, Isopoda, Psocoptera, Diplura, Pseudoscorpiones, Hymenoptera, Gastropoda e Larva de Coleoptera, mais abundantes em FN, RE e PA. Essas variáveis também ficaram negativamente correlacionadas com Larva de Diptera, Larva de Neuroptera e Oligochaeta. A variável PS-Lit, apresentou correlação positiva com Orthoptera, Hymenoptera e Bateria e correlação negativa com Coleoptera (Figura 23). Os resultados expostos nas Figuras 22 e 23, confirmam a hipótese (iv) levantada. As variáveis do solo, liteira e da paisagem apresentam relação com a fauna edáfica e podem explicar a sua distribuição.

#### 7.4 CONCLUSÃO

Nas paisagens do Oeste de Santa Catarina, os sistemas floresta nativa (FN) e pastagem (PA) apresentaram maiores abundâncias de indivíduos da fauna do solo, quando comparados com ILP na primeira coleta e PA apresentou maior abundância que plantio direto (PD) na segunda coleta. Os grupos taxonômicos Acari, Araneae, Coleoptera, Collembola, Diptera, Hemiptera e Hymenoptera apresentaram distribuição em todos os usos do solo amostrados nas paisagens, independente de época de coleta.

Foram verificadas dissimilaridades da comunidade da fauna ao longo das paisagens. Na primeira coleta as diferenças foram observadas principalmente entre FN quando comparado com PA e PD, também entre PD e PA. Na segunda coleta a maior dissimilaridade ocorreu entre PD e PA.

Foram verificadas variáveis ambientais e espaciais que apresentaram relação com as variáveis resposta e explicaram a variação da comunidade da fauna do solo em 7,1% e 4,6% respectivamente, na primeira coleta. Na segunda coleta as variáveis ambientais foram responsáveis por 8,6% da variação dos dados de fauna e as espaciais por 4%.

As variáveis ambientais Usos, Altitude, Bioporos, Espaço de Aeração e condutividade hidráulica saturada explicaram a composição da fauna do solo nas paisagens do Oeste de Santa Catarina, na primeira coleta. Na segunda coleta foram os atributos do solo Resistência a Penetração, Peso Seco da Liteira, Relação Carbono e Nitrogênio da Liteira, Nitrogênio do Solo, Potássio e pH em água, que apresentaram relação com a fauna edáfica.

## REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, D. **Fragmentação da paisagem e estrutura da comunidade de invertebrados edáficos**. 2019. 166 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2019.
- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Eds.) **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. 576p.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical Soil Biology and Fertility: A handbook of methods**. Wallingford: C-A-B International, 1993. 265p.
- BARDGETT, R. D.; VAN DER PUTTEN, W. H. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. **Nature**, v. 515, p. 505–511, 2014.
- BARETTA, D. et al. Soil fauna and its relation with environmental variables in soil management systems. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 871–879, 2014.
- BARTZ, M. L. C. et al. 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.
- CAMARA, Rodrigo et al. Effects of natural Atlantic Forest regeneration on soil fauna, Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 1, e20160017, 2018.
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Solos; 1997.
- CLARKE, K. R.; GORLEY, R.N. **PRIMER: Getting started with v6**. Plymouth: PRIMER-E Lta. 2005. p.12.
- FORMAN, R. T. **Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions** (1995). The Ecological Design and Planning Reader. IslandPress, Washington, DC, p. 217-234, 2014.

GOOGLE EARTH. Versão 7.3. 2018. **Santa Catarina, Brasil**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>>. Acesso em: fev. 2018.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregation. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy; 1965. p. 499-510.

LASCALEIA, M. C. et al. Dung beetle richness decreases with increasing landscape structural heterogeneity in an African savanna-agricultural mosaic. **Insect Conservation and Diversity**, v. 11, n. 4, p. 396–406, 2018.

LIU, S. et al. Comparative responses of termite functional and taxonomic diversity to land-use change. **Ecological Entomology**, v. 44, n. 6, p. 762-770, 2019.

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

MATTE, A. L. L.; MÜLLER, S. C.; BECKER, F. G. Forest expansion or fragmentation? Discriminating forest fragments from natural forest patches through patch structure and spatial context metrics. **Austral Ecology**, v. 40, n. 1, p. 21-31, 2015.

MITCHEL, M. G. et al. Reframing landscape fragmentation's effects on ecosystem services. **Trends in ecology and Evolution**. v. 30, p. 190-198, 2015.

NETO, T. A. C. et al. Relação fauna do solo-paisagem em plantio de eucalipto em toposequência. **Floresta**, v. 48, n. 2, p. 213-224, 2018.

OLIVEIRA FILHO, L. C. I. et al. **Fauna edáfica em ecossistemas florestais**. In: FORTES, N. L. P.; FORTES NETO, P. Ciências ambientais Vol. 2. EdUnitau: Taubaté. p. 10-39. 2018.

POMPEO, P. N. et al. Fauna e sua relação com atributos edáficos em Lages, Santa Catarina-Brasil. **Scientia Agraria**, v. 17, n. 1, 2016b.

POMPEO, P. N. et al. Morphological diversity of coleoptera (Arthropoda: Insecta) in agriculture and forest systems. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 41, p. e0160433, 2017.

POMPERMAIER, V. T. et al. Impact of exotic pastures on epigeic arthropod diversity and contribution of native and exotic plant sources to their diet in the central Brazilian savanna. **Pedobiologia**, v. 78, p. 150607, 2020.

PUECH, C. et al. Organic vs. conventional farming dichotomy: Does it make sense for natural enemies? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 194, p. 48–57, 2014.

ROSA, M. G. et al. Diversity of soil spiders in land use and management systems in Santa Catarina, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 19, n. 2, 2019.

ROSA, M. G. et al. 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.

SILVA, R. A. et al. Spatial variability of soil fauna under different land use and managements. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, e0170121, 2018.

ŠMILAUER, P.; LEPŠ, J. **Multivariate analysis of ecological data using CANOCO 5**. Cambridge university press, 2014. 527 p.

STATSOFT, Inc. **STATISTICA (data analysis software system), version 10**. www.statsoft.com. 2011.

TER BRAAK C.J.F.; ŠMILAUER P. **Canoco reference manual and user's guide: software for ordination, version 5.0**. Ithaca: Microcomputer Power, 2012. 496 p.

TURNER, M. G.; GARDNER, R. H. **Landscape ecology in theory and practice**. Springer New York, 2015. 499 p.

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.

## 8 CAPÍTULO 4: INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DA PAISAGEM E ATRIBUTOS DO SOLO NA DISTRIBUIÇÃO DAS MORFOESPÉCIES DE COLEÓPTEROS NO OESTE CATARINENSE

### RESUMO

O objetivo do presente capítulo foi avaliar a distribuição de comunidades de morfoespécies de Coleoptera do solo, sua relação com as variáveis ambientais e espaciais em fragmentos da paisagem e seu potencial bioindicador de usos do solo das áreas rurais em Santa Catarina. Utilizaram-se avaliações de morfoespécies de coleópteras em escala da paisagem, em três municípios da região Oeste (Chapecó, Pinhalzinho e São Miguel do Oeste). Em cada paisagem foi estabelecida uma grade amostral dentro de uma janela com diâmetro de 1 km e pontos de coleta com aproximadamente 167 m de distância entre si. Foram realizadas duas amostragens e os métodos de coleta dos invertebrados envolveram a escavação de monólitos de solo, armadilhas de queda e *cores*. Também foram avaliados atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo e da liteira, considerados como variáveis ambientais explicativas junto com as variáveis espaciais da paisagem nas análises estatísticas. A abundância dos coleópteros variou dependendo do uso do solo e da cobertura vegetal. As comunidades de coleópteros apresentaram dissimilaridades entre os usos, a floresta nativa demonstrou diferenças de pastagem, integração lavoura-pecuária e plantio direto, também a pastagem foi diferente de plantio direto. As variáveis ambientais Usos, Macroporos, Nitrogênio do solo, Espaço de Aeração, Perímetro dos fragmentos e Peso Seco da Liteira contribuíram na explicação da composição de coleópteros do solo nas paisagens. A morfoespécie de Coleoptera com maior taxa indicadora ocorreu para floresta nativa e percente à família Staphylinidae. A heterogeneidade da paisagem influenciou na comunidade de morfoespécies de coleópteros do solo e demonstrou aumento de indivíduos nos fragmentos com usos florestais e com maior cobertura do solo.

### 8.1 INTRODUÇÃO

O estudo dos coleópteros do solo e de suas relações ecológicas é considerado de grande importância para a avaliação da qualidade do solo, serviços ecossistêmicos e para a compreensão das alterações e dinâmica dos sistemas de produção (FRANÇA et al., 2016; FARIAS; HERNANDEZ, 2017; POMPEO et al., 2020). Esse grupo dos insetos possui muitas

espécies terrestres que podem ser encontradas em diversos ambientes e desempenham importante papel ecológico na transformação da serapilheira, estruturação e formação do solo (DESUÓ et al., 2010; BROWN et al., 2015).

A fragmentação de habitats e mudanças de uso da terra em áreas agrícolas, modificam a estrutura natural das paisagens e causam distúrbios ambientais decorrentes das alterações do microclima, vegetação, liteira, solo, incidência da radiação, ventos, umidade, uso de agrotóxicos e fertilizantes. Essas modificações servem como filtro de espécies de Coleoptera, onde as mais tolerantes são capazes de permanecer no ambiente e outras podem desaparecer, por não serem capazes de suportar as novas condições (CAMPOS et al., 2015; LASCALEIA et al., 2018; SALOMÃO et al., 2018; VICIAN et al. 2018;).

Sabe-se que a manutenção de fragmentos de floresta nativa na paisagem pode servir como fonte de biodiversidade de invertebrados do solo para as áreas agrícolas adjacentes (MARICHAL et al., 2014). Estudos foram publicados recentemente demonstrando a relação de grupos de coleópteros do solo com aspectos da paisagem (NG et al., 2017; CIVIDANES et al., 2018; LASCALEIA et al, 2018; ARENAS-CLAVIJO; ARMBRECHT, 2019). Ng et al. (2017), observaram a importância da manutenção de fragmentos conservados e com intensidade de uso reduzido nas paisagens agrícolas da Austrália, para manter as comunidades de coleópteros do solo. Outro estudo realizado na África, demonstrou a diminuição na riqueza de besouros (Scarabaeidae), decorrente do aumento da heterogeneidade da paisagem (LASCALEIA et al, 2018).

Contudo, estudo realizado na Colômbia evidenciou que a alta heterogeneidade da paisagem, com a mistura de diferentes usos da terra é mais importante para manter a biodiversidade de formigas e coleópteros (Carabidae) do que quando considerado cada uso da terra de forma independente (ARENAS-CLAVIJO; ARMBRECHT, 2019). Em estudo realizado em paisagens no sul do Brasil, foi evidenciado que a diversidade e riqueza de espécies de coleópteros (Carabidae) podem ser menores em pequenos fragmentos florestais do que em grandes fragmentos (CIVIDANES et al., 2018).

Entretanto, em Santa Catarina, as paisagens agrícolas das propriedades rurais apresentam uma grande variedade de fragmentos com diferentes usos e manejos, cuja relação com as comunidades de coleópteros, foram pouco estudadas, se limitando a uma única família e poucos fragmentos (NIERO; HERNÁNDEZ, 2017). Apesar de já terem sido publicados estudos que demonstram diferenças nas comunidades de coleópteros entre usos do solo no Oeste Catarinense (POMPEO et al., 2020), ainda é preciso avançar para avaliações em escala da paisagem, considerando toda a heterogeneidade de usos do solo presentes.

Sendo assim, foram testadas as seguintes hipóteses: (i) Ocorrem morfoespécies de coleópteros indicadores dos usos do solo em paisagens do Oeste de Santa Catarina; (ii) O uso e a cobertura do solo influenciam na abundância de coleópteros nas paisagens estudadas; (iii) Ocorrem dissimilaridades das comunidades de morfoespécies de coleópteros entre os sistemas de uso do solo; (iv) Há influência tanto de variáveis espaciais quanto ambientais na composição dos coleópteros presentes nas paisagens; (v) As variáveis do solo, liteira e paisagem, apresentam relação com as morfoespécies de Coleoptera e podem ajudar a explicar sua distribuição.

Neste contexto, o objetivo do presente capítulo foi avaliar a distribuição de comunidades de morfoespécies de Coleoptera do solo, sua relação com as variáveis ambientais e espaciais em fragmentos da paisagem, seu potencial como bioindicador de usos do solo das áreas rurais em Santa Catarina.

## 8.2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 8.2.1 Locais de estudo e amostragem

Os locais de estudo foram descritos com mais detalhes no Capítulo 3, pág. 119, pois tratam do mesmo projeto. Para o desenvolvimento desta etapa do estudo foram selecionadas paisagens que continham o sistema de plantio direto e manchas ou fragmentos florestais, em três municípios do Oeste do Estado de Santa Catarina, sendo: Chapecó, Pinhalzinho e São Miguel do Oeste.

Os municípios selecionados da região Oeste de Santa Catarina possuem clima subtropical constantemente úmido, sem estação seca, com verão quente, Cfa, segundo a classificação de Köppen, com temperatura média do mês mais quente  $\geq 22,0$  °C. A precipitação pluviométrica total anual, varia de 1.900 a 2.200 mm (ALVARES et al., 2013). A umidade relativa do ar pode variar de 77 a 82%. Em Chapecó o ponto central da janela selecionada possui coordenada de 27°4'47.00"S 52°41'0.90"O. Em Pinhalzinho, a coordenada é 26°52'39.80"S 52°57'27.50"O, e em São Miguel do Oeste é 26°44'32.00"S 53°32'25.90"O (Figura 16, pág. 121).

O plantio direto (PD) foi considerado o ponto central da janela e determinado como o principal uso que compõe a paisagem, junto com a floresta nativa (FN), por ser o sistema predominante nesta região do estado. Além destes, as janelas também apresentavam os sistemas

de uso do solo (SUS): pastagem (PA), plantio de eucalipto (PE), integração lavoura-pecuária (ILP) e capoeira (CP).

Em cada uma das paisagens com áreas agrícolas e florestais foi determinada uma janela amostral com um diâmetro de 1 km, onde foi estabelecida grade amostral com pontos de coleta com aproximadamente 167 m de distância entre si. O número de pontos foi de 29 em cada paisagem, sendo que os que caíssem dentro da água, em construções ou em estradas não eram descartados, apenas realocados fora do círculo, considerando a mesma distância entre pontos da grade amostral (Figura 17, pág. 124).

Todos os pontos foram georreferenciados e realizadas amostragens de solo para análises químicas, físicas, microbiológicas, morfoespécies de coleópteros do solo, serapilheira e percentual de cobertura do solo. As amostragens foram realizadas em duas épocas distintas. A “primeira coleta” foi em abril de 2018 (clima quente e seco), no início do outono e a “segunda coleta” em agosto do mesmo ano (clima frio e úmido), no inverno.

De acordo com os dados meteorológicos do Centro de informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM, Epagri), para os municípios estudados no mês de abril estava mais quente e seco, com a temperatura média mensal de 22,48° C e soma mensal das precipitações de 42,20 mm. No mês de agosto o clima estava mais frio e úmido, a temperatura média mensal foi de 14,64° C e soma mensal das precipitações foi de 119,80 mm.

É possível visualizar os mapas com os pontos amostrados de cada janela nos Anexos A, B e C. Também estão disponíveis os mapas das classes de solo das paisagens nos Anexos D, E e F. Mais informações sobre os locais de estudo e amostragem podem ser encontrados no Capítulo 3, Tabela 15, pág. 123 e nos Apêndices B1, B2 e B3.

Através de imagem orbital de alta resolução espacial associada a fotointerpretação e vetorização manual foram elaborados mapas da cobertura e uso da terra e em fragmento onde houve pontos amostrados foram determinadas a área (ha) e o perímetro (m) no *software* Arcgis 10.2.1 (ESRI, 2013) e consideradas como variáveis ambientais explicativas. Os mapas de cobertura e uso da terra podem ser observados nos Anexos G, H e I. Mais detalhes sobre a criação dos mapas e métricas das paisagens estão disponíveis em Alexandre (2019).

### **8.2.2 Amostragem e identificação dos coleópteros do solo**

Para a coleta dos organismos da ordem Coleoptera, foram utilizadas três metodologias distintas, a primeira ocorreu com a coleta de monólitos de solo, que é referente ao método de

amostragem baseado no *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF) (ANDERSON; INGRAM, 1993). A segunda amostragem foi com armadilhas do tipo "*Pitfall traps*" (BARETTA et al., 2014), mais detalhes no Capítulo 3, pág. 123. Por fim, o terceiro método foi a utilização de *Cores* ou amostras de solo com estrutura preservada, coletadas com auxílio de tubo rígido de PVC com 5 × 5 cm, segundo a metodologia ISO 23611-2 (2006). As amostras foram acondicionadas em caixa de isopor refrigeradas e transportadas para o laboratório para extração durante 12 dias em funis de Berlese-Tullgren (AQUINO et al., 2006).

Em seguida, as amostras de TSBF foram triadas manualmente e as amostras das armadilhas e dos *Cores* foram lavadas em peneira de 150 µm, sendo todos os organismos armazenados em álcool etílico 70% para posterior identificação. Posteriormente, os coleópteros foram identificados em morfoespécies e famílias taxonômicas com auxílio de microscópio estereoscópico. A metodologia de identificação das morfoespécies foi descrita no Capítulo 1, pág. 53.

As famílias foram identificadas com auxílio de chaves de identificação e/ou caracterizações contidas na literatura (LIMA, 1952-55; CASARI; IDE, 2012; TRIPLEHORN; JOHNSON, 2015). A nomenclatura e ocorrência foram verificadas no Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil (MONNÉ; COSTA, 2020). O material foi depositado em álcool etílico absoluto 99,5% para melhor conservação.

### **8.2.3 Amostragem e análises do solo e serapilheira**

As amostras foram coletadas em todos os pontos (Figura 17, pág. 124). A coleta do solo para as análises químicas e microbiológicas foi realizada na profundidade de 0-10 cm com trado holandês, em 18 pontos ao redor de cada ponto de coleta, para formar uma amostra composta representativa. Os atributos químicos pH, Fósforo (P), Potássio (K), Matéria orgânica (MO), Alumínio (Al), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Capacidade de troca de cátions (CTC), Nitrogênio (N), Relação carbono/nitrogênio (C/N-Solo), carbono orgânico (CO), foram determinados de acordo com Tedesco et al. (1995). O carbono total do solo (C-Solo), o nitrogênio total do solo (N-Solo) foram determinados por combustão no multi N/C 2100 e Analytik (TOC). Com base nos dados de C-Solo e N-Solo foi calculada a relação Carbono/Nitrogênio do solo (C/N-Solo).

Para as análises dos atributos microbiológicos ligados a dinâmica do carbono no solo, foi determinado o carbono da biomassa microbiana (C-Mic), pelo método de extração-fumigação (VANCE et. al, 1987). A atividade microbiana foi avaliada pela determinação da respiração basal microbiana (R-Mic) (ALEF; NANNIPIERI, 1995). Para as análises físicas

foram retiradas com cilindros de aço de 5 cm de altura e 6 cm de diâmetro (indeformadas), sendo analisadas, densidade do solo (DS), porosidade total (PT), microporosidade (Micro), macroporosidade (Macro), bioporos (Bio) e umidade volumétrica (Umi-V), seguindo Manual da Embrapa (CLAESSEN, 1997).

A resistência a penetração (R<sub>PenB</sub>) foi avaliada por meio de penetrômetro de bancada Marconi® modelo MA-933, em amostras com umidade estável na tensão de 10 kPa. As medidas de condutividade hidráulica saturada (CHS) foram feitas em um aparelho de condutividade e registradas no software Ksat 2008. Também foi coletado solo na profundidade de 0-10 cm com uma pá de corte, retirando uma amostra com torrões em cada ponto, para avaliar a estabilidade de agregados, por meio do diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) (KEMPER; CHEPIL, 1965). Além disso, foram determinadas a resistência do solo à penetração à campo (R<sub>Pen</sub>), utilizando um penetrômetro eletrônico (Penetrolog – PLG1020) e umidade do solo (Umi-H) com um medidor eletrônico de umidade (Hidrofarm – HFM1010).

A serapilheira foi retirada em quatro locais ao redor de cada pondo de coleta com um amostrador de madeira de 20 cm × 20 cm e posteriormente peneirada em malha de 2 mm para a separação do solo, para separar as partículas finas do solo foi realizada peneiragem úmida em malha de 150 µm. Posteriormente o material foi seco em estufa a 55° C até peso constante, para a determinação do peso seco da liteira (PS-Lit). O carbono total da liteira (C-Lit), o nitrogênio total da liteira (N-Lit) foram determinados por combustão no multi N/C 2100, Analytik (TOC).

Para avaliar a cobertura do solo, foram tiradas fotografias em cada ponto de coleta, utilizando um marcador de 1 m<sup>2</sup>, com quatro capturas de imagens em locais diferentes ao redor do ponto, somando 4 m<sup>2</sup>, para posterior avaliação visual da porcentagem de área coberta do solo. Mediante a captura de fotos, foi estabelecido uma grade de 5 × 5 em cada imagem obtida, sendo registrada presença ou ausência de vegetação, liteira (serapilheira/palhada) e o solo nu, com intuito de calcular o percentual de cobertura, seguindo metodologia de Silva et al. (2017). Para obter essas diferentes porcentagens de cobertura do solo uma única variável ambiental, foi calculado um índice de cobertura vegetal (*VegCover index*), de acordo com a seguinte equação:

$$\text{VegCover} = [\% \text{veg} / \% \text{Total} \times (\% \text{Total} - \% \text{Solo nu})] / 100$$

Onde a %Total refere-se a soma das porcentagens de vegetação e serapilheira. O índice varia de “1” (100% coberto por vegetação) a “-1” (100% do solo nu).

## 8.2.4 Análise dos dados

### *Inventário e morfoespécies de coleópteros indicadores dos usos do solo*

As análises de dados consideraram as abundâncias de coleópteros do solo dos três métodos de coleta juntos (TSBF, armadilhas de queda e *cores*), por época de amostragem, para a matriz das variáveis resposta. Essa forma de utilização dos dados já foi descrita em outros estudos (POMPEO et al., 2016b; POMPEO et al., 2017; ALEXANDRE, 2019). Foi calculada a porcentagem de ocorrência das morfoespécies de Coleoptera do solo, sendo demonstradas, nos resultados, as de maior ocorrência nas duas coletas. A riqueza, dominância, diversidade e equabilidade das morfoespécies de Coleoptera foram calculados pelos índices de Margalef, Simpson, Shannon-Weaver e Pielou, utilizando o *software* PAST 4.01 versão 2020 (HAMMER et al., 2001). Para verificar as morfoespécies indicadoras dos usos do solo, foi realizada a análise IndVal, avaliando as espécies indicadoras por época de coleta. Para esta análise foi utilizado o pacote *labdsv* (ROBERTS, 2019) no *software* estatístico R (R CORE TEAM, 2020).

### *Variação na abundância dos coleópteros do solo na paisagem*

Para verificar as diferenças significativas da abundância de coleópteros entre os SUS amostrados nas paisagens do Oeste de Santa Catarina, realizou-se análise não-paramétrica de Kruskal-Wallis e comparação aos pares *a posteriori* quando demonstrado resultado significativo. Optou-se por essa análise devido aos dados serem valores inteiros, de contagem e não apresentarem resíduos normalmente distribuídos mesmo após transformações. Foram avaliadas as abundâncias nas janelas das paisagens em conjunto para as duas épocas de coletas realizadas, no *software* STATISTICA 10 (STATSOFT, 2011).

Para as análises estatísticas buscou-se realizar avaliações que consideram os efeitos mistos, ou seja, efeitos fixos e efeitos aleatórios. O fixo é considerado o efeito de interesse no qual se busca estimar parâmetros e verificar diferenças entre os níveis e o aleatório é relacionado ao efeito na variância da resposta, portanto, não é um efeito de interesse. Neste capítulo, o efeito aleatório considera que os dados estão agrupados em paisagens, cujo efeito sobre a variável resposta não interessa diretamente, mas considera essa parte da variação que não pode ser explicada com análises simples, sem efeito misto. Em adição, também foram utilizadas análises onde as paisagens foram consideradas como covariáveis (variáveis preditoras com seus efeitos sobre as variáveis de resposta reconhecidas, mas não de interesse principal), sendo

contabilizadas a *priori*, para então ser possível medir as relações de interesse das variáveis explicativas com as variáveis resposta (ŠMILAUER; LEPŠ, 2014).

*Generalized Linear Mixed Models* (GLMM) foram realizados para quantificar o efeito relativo dos usos do solo e da cobertura vegetal sobre a abundância de Coleoptera do solo. Para essa análise foi considerada a distribuição de probabilidades dos resíduos de *poisson* com função de ligação “Log”, pois é a mais adequada para os dados de abundância por serem de contagem, ou seja, números inteiros e não negativos. As janelas da paisagem foram consideradas como efeito aleatório, e os “SUS” e “VegCover” como efeito fixo para a variável resposta abundância, utilizando o pacote *lme4* (BATES et al., 2015).

Os modelos calculados foram classificados e selecionado o melhor modelo, com base em ANOVAs e confirmado pela análise dos valores do coeficiente do Critério de informações de Akaike Corrigido (AICc) e do peso do modelo, utilizando o pacote *bbmle* (BOLKER; R CORE TEAM; GINÉ-VÁZQUEZ, 2020). O diagnóstico dos resíduos escalonados (resíduos quantílicos) foi verificado pela função “simulateResiduals”, com 1000 simulações, no pacote *DHARMA* (HARTIG, 2020). Todas as análises relacionadas ao GLMM foram realizadas no *software* estatístico R (R CORE TEAM, 2020).

#### *Relação das comunidades de coleópteros do solo com os usos do solo*

Para verificar as diferenças estatísticas entre os SUS foram realizadas *Permutational Multivariate Analysis of Variance* (PERMANOVA), também com base no índice de Bray-Curtis da matriz de dados de abundância transformados  $\log(x+1)$  (com 999 permutações) utilizando os usos como efeito fixo e as janelas da paisagem como efeito aleatório, com o objetivo de avaliar a variabilidade entre os usos do solo, com comparações múltiplas a *posteriori*. As análises foram realizadas no *software* PRIMER 6 (CLARKE & GORLEY, 2005).

#### *Influência das variáveis ambientais e espaciais na composição das comunidades*

Com o objetivo de avaliar a similaridade na composição de morfoespécies de Coleoptera relacionada as variáveis ambientais explicativas e variáveis espaciais e verificar quais atributos podem justificar a dissimilaridade observada na comunidade de morfoespécies de coleópteros, foi realizado o particionamento das variâncias das *Principal Coordinates of Neighbour Matrices* (PCNM). Nesta análise, são definidas frações de explicação da variância da matriz de dados biológicos utilizando conjuntos de dados espaciais (autofunções espaciais da PCNM

calculadas a partir das coordenadas UTM) e ambientais (atributos do solo, paisagem e usos do solo).

Para esses cálculos foram utilizadas as porcentagens da variação explicada ajustada e o método utilizado foi *Canonical Correspondence Analysis* (CCA), pois os dados de resposta apresentaram um gradiente com comprimento de 6,4 unidades de desvio padrão na primeira coleta e 10,9 na segunda. No particionamento das variâncias das PCNMs, as janelas da paisagem foram consideradas como covariáveis, as variáveis explicativas significativas ( $p \leq 0,05$ ), corrigidas por *False Discovery Rate* (FDR), foram selecionadas por *forward selection*, assim como as variáveis espaciais, sendo eliminadas variáveis colineares e não significativas.

#### *Relação das variáveis ambientais com as morfoespécies de coleópteros*

Os gráficos que demonstram o efeito condicional das variáveis ambientais nas morfoespécies de Coleoptera, foram gerados a partir da partição das variâncias da PCNM e foram utilizados para sumarizar a variação na composição da comunidade de coleópteros, explicada pelas variáveis ambientais na CCA, depois de contabilizar o efeito espacial. Nesse sentido, a variação dos dados explicadas pelos eixos 1 e 2, nas ordenações, demonstram unicamente o efeito das variáveis ambientais sobre a composição da fauna do solo. As amostras por sistema de uso do solo foram plotadas no gráfico para auxiliar na interpretação e discussão dos resultados, utilizando o *software* CANOCO 5.0 (ver BRAAK & SMALAUER, 2012).

### 8.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### **8.3.1 Inventário dos coleópteros do solo e morfoespécies indicadoras em paisagens do Oeste Catarinense**

Foram amostrados 503 coleópteros na primeira coleta e 294 na segunda, distribuídos em 20 famílias taxonômicas e 109 morfoespécies. Na Tabela 18, é possível verificar as doze morfoespécies de maior ocorrência e suas respectivas famílias em cada coleta. As morfoespécies da família Staphylinidae apresentaram a maior participação e algumas morfoespécies tiveram maior ocorrência nas duas coletas como é o caso das Col. 29, 68, 72, 81, 79 e 62, pertencentes as famílias Ptiliidae, Nitidulidae, Carabidae, Staphylinidae e Scarabaeidae.

Tabela 18 - Morfoespécies de Coleoptera de maior ocorrência (%) nas paisagens do Oeste de Santa Catarina, na primeira e segunda coletas.

Coleta 1			Coleta 2		
Morfoespécie	Família	Ocorrência	Morfoespécie	Família	Ocorrência
Col.02	Staphylinidae	25	Col.29	Ptiliidae	15
Col.29	Ptiliidae	25	Col.79	Staphylinidae	15
Col.68	Nitidulidae	23	Col.1	Staphylinidae	13
Col.72	Carabidae	18	Col.72	Carabidae	13
Col.81	Nitidulidae	17	Col.105	Carabidae	13
Col.77	Staphylinidae	16	Col.60	Salpingidae	10
Col.79	Staphylinidae	14	Col.21	Staphylinidae	9
Col.53	Tenebrionidae	13	Col.36	Staphylinidae	9
Col.91	Staphylinidae	12	Col.54	Lathridiidae	9
Col.08	Staphylinidae	9	Col.81	Nitidulidae	9
Col.62	Scarabaeidae	9	Col.62	Scarabaeidae	7
Col.26	Staphylinidae	8	Col.68	Nitidulidae	7

Em relação aos índices de diversidade, evidenciaram-se valores médios mais elevados dos índices de diversidade de Simpson e Shannon que foram observados no sistema PE na primeira coleta, a riqueza de Margalef apresentou valor mais elevado em FN. O índice de equabilidade de Pielou foi maior em ILP (Tabela 19). Na segunda coleta, Simpson foi mais elevado no uso ILP e Shannon em CP. A riqueza de Margalef foi mais elevada em ILP e a equabilidade de Pielou foi maior em CP (Tabela 19).

Tabela 19 – Valores médios dos índices de Simpson, Shannon, Margalef e Pielou das morfoespécies de Coleoptera nos sistemas de uso do solo (SUS), capoeira (CP), floresta nativa (FN), integração lavoura-pecuária (ILP), pastagem (PA), plantio direto (PD) e plantio de eucalipto (PE), das paisagens do Oeste de Santa Catarina.

SUS	Riqueza	Simpson	Shannon-Weaver	Margalef	Pielou
<b>Primeira Coleta</b>					
CP	2	0,47	0,66	1,18	0,96
FN	4	0,47	0,94	1,44	0,73
ILP	3	0,46	0,76	1,23	0,97
PA	3	0,41	0,71	1,14	0,93
PD	3	0,49	0,88	1,33	0,96
PE	4	0,61	1,07	1,36	0,90
<b>Segunda Coleta</b>					
CP	5	0,44	1,07	1,67	0,98
FN	3	0,45	0,83	1,26	0,91
ILP	3	0,61	1,02	1,72	0,97
PA	3	0,40	0,74	0,98	0,85
PD	3	0,40	0,69	1,08	0,95
PE	2	0,48	0,73	1,30	0,91

Os maiores valores médios dos índices, em sua maioria, não foram observados na FN, com exceção de Margalef na primeira coleta. Bernardes et al. (2020), ao estudarem uma paisagem na Região do Cerrado brasileiro, também não verificaram o maior valor de Shannon nos fragmentos com vegetação nativa preservada.

O maior valor do índice Margalef em FN, também foi observado para morfotipos de colêmbolos na Região Leste de Santa Catarina (SANTOS et al., 2018). O valor do índice de Margalef inferior a 2,0, é considerado indicador de área com baixa diversidade. No caso do presente estudo, todos os valores observados são menores que 2, indicando baixa diversidade de morfoespécies de coleópteros ao longo da paisagem. Os valores de Shannon e Simpson também foram baixos para todos os SUS ao longo da paisagem.

Pompeo et al. (2020) ao estudarem famílias de Coleoptera em usos da terra no Oeste de Santa Catarina, encontraram valores de Shannon variando de 1 até 2,1. Valores maiores do que o encontrado no presente estudo para morfoespécies. Entretanto, em estudo realizado em paisagens em São Paulo, Brasil, para espécies de coleópteros (Carabidae), encontraram valores entre 0,44 e 1,15 para diversidade de Shannon

De acordo com os resultados da análise IndVal, foram encontradas três espécies indicadoras ( $p \leq 0,05$ ) dos SUS, nas paisagens do Oeste de Santa Catarina. Na primeira coleta ocorreu uma morfoespécie indicadora de FN. Na segunda coleta, ocorreram morfoespécies indicadores de ILP e PE, mas com baixo valor indicador. A morfoespécie Col. 77 da família Staphylinidae foi a indicadora de FN (IndVal = 0,667;  $p = 0,009$ ) na primeira coleta (Figura 24). Na segunda coleta, com menor valor indicador as morfoespécies Col. 60 da família Salpingidae foi indicadora de ILP (IndVal = 0,414;  $p = 0,035$ ) e Col. 54 (Latridiidae) foi indicadora de PE (IndVal = 0,540;  $p = 0,009$ ).

No caso das amostragens realizadas em escala da paisagem, do presente estudo, deve ser considerado o esforço amostral dos SUS, que foi maior em PD e FN, por ocuparem maior extensão de área. Nesse sentido, os sistemas ILP, PE e CP foram menos amostrados, e isso deve ser considerado antes de apontar morfoespécies indicadoras desses SUS. A morfoespécie indicadora Col.60, apesar de significativa segundo o teste de probabilidade do IndVal, e de apresentar ocorrência de 10% nas amostras, independente de SUS (Tabela 18), teve abundância de apenas três indivíduos em ILP e ocorreu também em PD. A morfoespécie Col. 54, apresentou abundância de 2 indivíduos em PE, ocorrendo também em PD. Essas duas morfoespécies apresentaram uma taxa indicadora menor que 60% e baixa abundância, não sendo consideradas adequadas como indicadoras, apesar de significativas.

Leach et al. (2013), ao avaliarem morfoespécies de formigas e coleópteros do solo em pastagens e florestas no Leste da Austrália, apontaram que a taxa indicadora IndVal menor que 70% pode não ser confiável. Além disso, esses autores também evidenciaram que aumentos no esforço de amostragem, apesar de normalmente recomendados nesses casos, podem gerar custos adicionais para programas de monitoramento e não ser necessário para capturar uma amostra representativa da comunidade local de invertebrados.

Figura 24 - Morfoespécie de Coleoptera indicadoras (IndVal) de floresta nativa em paisagens do Oeste de Santa Catarina.

Col.77  
Staphylinidae



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Diferentemente do estudo citado, que utilizou apenas armadilhas de queda, o presente estudo amostrou os coleópteros com outros dois métodos além deste (TSBF e *cores*) e mesmo assim não foi capaz de capturar abundância representativa dessas morfoespécies, nos sistemas onde foram indicadoras. Sugerindo que mesmo se aumentado o esforço amostral, talvez não garantisse um resultado melhor, também traria outras complicações como a elevação dos custos, tempo e mão de obra.

A morfoespécie Col. 77, apresentou uma taxa indicadora mais alta (67%), abundância de 155 indivíduos em floresta nativa e ocorrência de 16% (Tabela 18). Esta também foi indicadora de FN na região Oeste de Santa Catarina no estudo biogeográfico exposto no Capítulo 1. As coletas desses dois projetos, em escala regional (Capítulos 1 e 2) e escala da

paisagem (Capítulos 3, 4 e 5) foram realizadas em anos diferentes. As da escala regional ocorreram em 2011 (POMPEO et al., 2020) e as da paisagem ocorreram em 2018, mas as duas foram realizadas em uma época de temperaturas quentes.

Essa condição evidencia a importância dessa morfoespécie e da família Staphylinidae, para ser considerada em avaliações das florestas nativas do Oeste do Estado, com potencial para ser utilizada em estudos de monitoramento de alterações ambientais nesse sistema. Os resultados confirmam a hipótese (i) levantada. Demonstrando que ocorreu morfoespécie de coleóptero indicadora do uso do solo em paisagens do Oeste de Santa Catarina.

### **8.3.2 Variação da abundância de coleópteros decorrente do uso do solo e cobertura vegetal**

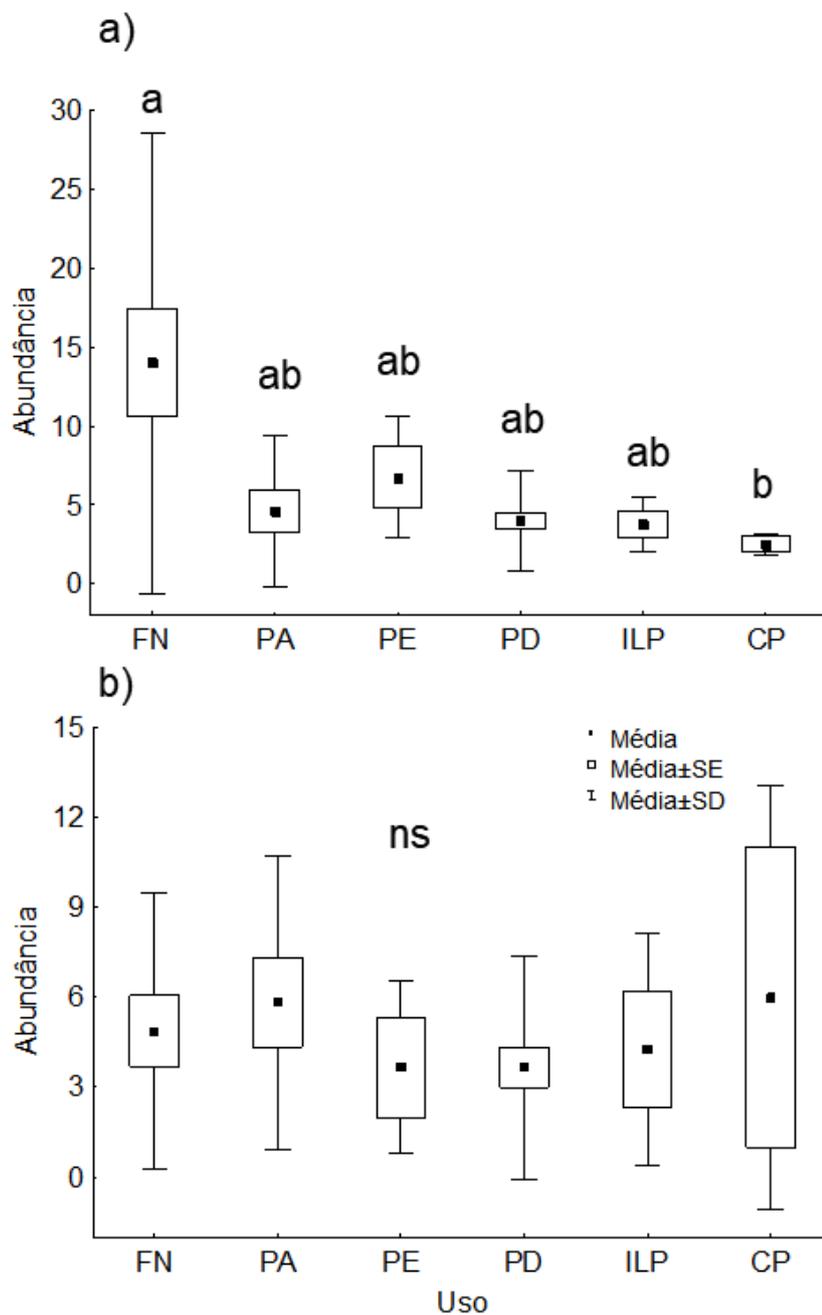
Observa-se que na primeira coleta as diferenças da abundância de coleópteros entre os SUS estão mais evidentes do que na segunda. Isso foi confirmado pelo teste Kluskal-Wallis ( $p \leq 0,05$ ), que apresentou resultado significativo na primeira coleta (15,276;  $p = 0,009$ ) e não significativo na segunda (2,617;  $p = 0,759$ ). Na comparação aos pares para a primeira coleta, foi verificada diferença significativa apenas entre FN e CP ( $p = 0,01$ ) (Figura 25).

Esses resultados demonstram que, na primeira coleta, as condições de clima mais quente e seco podem ter favorecido a permanência dos coleópteros na floresta, considerada um ambiente com maior cobertura do solo, microclima mais ameno e maior diversidade vegetal (POMPEO et al., 2020). Podendo diminuir o fluxo de indivíduos para as áreas adjacentes na paisagem, onde ocorrem os usos agrícolas e campo (Figura 25), pois estes últimos, em grande parte, apresentam menor cobertura vegetal e são mais suscetíveis a amplitude térmica na interface solo-liteira.

Contudo, observando apenas os resultados da Figura 25, não é possível verificar a variação das abundâncias nos usos do solo com o efeito aleatório das diferentes paisagens e qual o efeito do uso, somado ao efeito da cobertura vegetal sobre a variável resposta. Nesse sentido, optou-se pela realização da análise GLMM utilizando os dados de abundância de coleópteros como variável resposta, por entender que esses apresentam importante variação ao longo dos usos nas paisagens e possivelmente está relacionada com a cobertura do solo.

Foi possível realizar a modelagem apenas para a primeira coleta, pois na segunda coleta não foi encontrada nenhuma variação significativa. Nas paisagens do Oeste de Santa Catarina, o melhor modelo misto generalizado selecionou a combinação “SUS” com “VegCover”, sem interação, como explicação para o aumento da abundância de coleópteros, mostrando o menor valor AICc e maior peso (Tabela 20).

Figura 25 – Abundância média de coleópteros do solo amostrados em floresta nativa (FN), pastagem (PA), plantio de eucalipto (PE), plantio direto (PD), integração lavoura-pecuária (ILP) e capoeira (CP), na primeira (a) e segunda (b) coletas, das paisagens do Oeste de Santa Catarina.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020. Valores médios da abundância de coleópteros (somados indivíduos do TSBF, armadilhas e cores) seguidos pela mesma letra são similares segundo o teste Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ;  $n=87$ ); ns = não significativo.

Em relação ao efeito aleatório “Paisagem”, os resultados para a variação da abundância de coleópteros, do melhor modelo, foram: desvio padrão (SD) do intercepto (0,2833) e variância (0,0824). O SD é uma medida do quanto a variabilidade da variável dependente “abundância” é devida ao efeito aleatório analisado (os interceptos das paisagens). Pode-se dizer que o desvio

padrão é associado às diferenças de intercepto entre paisagens do modelo. Os resultados dos efeitos fixos estão expostos na Tabela 21.

Tabela 20 - Classificação do melhor modelo de efeitos mistos para explicar a abundância de morfoespécies de Coleoptera, baseada nos valores do Critério de informações de Akaike Corrigido (AICc) e respectivos pesos do modelo, com efeitos fixos de SUS, VegCover e efeito aleatório das Janelas da Paisagem.

Modelo	LogLik	AICc	Peso
1 Abundância ~ SUS+VegCover + (1   Paisagem)	-267,3	552,6	0,9916
2 Abundância ~ SUS*VegCover + (1   Paisagem) <sup>1</sup>	-265,2	562,2	0,0084
3 Abundância ~ SUS + (1   Paisagem)	-283,0	581,7	<0,001
4 Abundância ~ VegCover + (1   Paisagem)	-354,6	715,5	<0,001
5 Abundância ~ 1 + (1   Paisagem) <sup>2</sup>	-364,0	732,1	<0,001

Sistema de uso do solo (SUS). Modelo mais complexo, com interação ( <sup>1</sup> ). Modelo nulo ( <sup>2</sup> ). Valores do log-Likelihood (LogLik).

Ao observar a Tabela 21, é possível perceber que o intercepto corresponde à média de abundância do uso FN, o que significa que o modelo tomou o nível FN como nível de referência. É por isso que esse nível não aparece na tabela de coeficientes de efeito fixo, pois ele é na verdade o intercepto do modelo. No caso do presente estudo a FN também apresenta a maior média de abundância de coleópteros e pode ser verificado o resultado significativo do intercepto (Tabela 21 e Figura 25a).

Tabela 21 - Resumo dos resultados dos efeitos fixos dos Modelos Mistos Generalizados (GLMM) para o Modelo 1, melhor modelo.

Efeito fixo	Coefficiente estimado	Erro padrão	z-value	p-value
<i>Modelo 1 (melhor modelo)</i>				
Intercepto	2,1727	0,1915	11,346	<2e-16*
Capoeira	-2,1163	0,4541	-4,660	3,16e-06*
Integração lavoura-pecuária	-1,1561	0,2691	-4,296	1,74e-05*
Pastagem	-1,4422	0,1640	-8,792	<2e-16*
Plantio direto	-1,0991	0,1074	-10,234	<2e-16*
Plantio de Eucalipto	-1,0205	0,2079	-4,910	9,12e-07*
VegCover	0,9558	0,1706	5,604	2,10e-08*

Significativo p < 0,001 (\*).

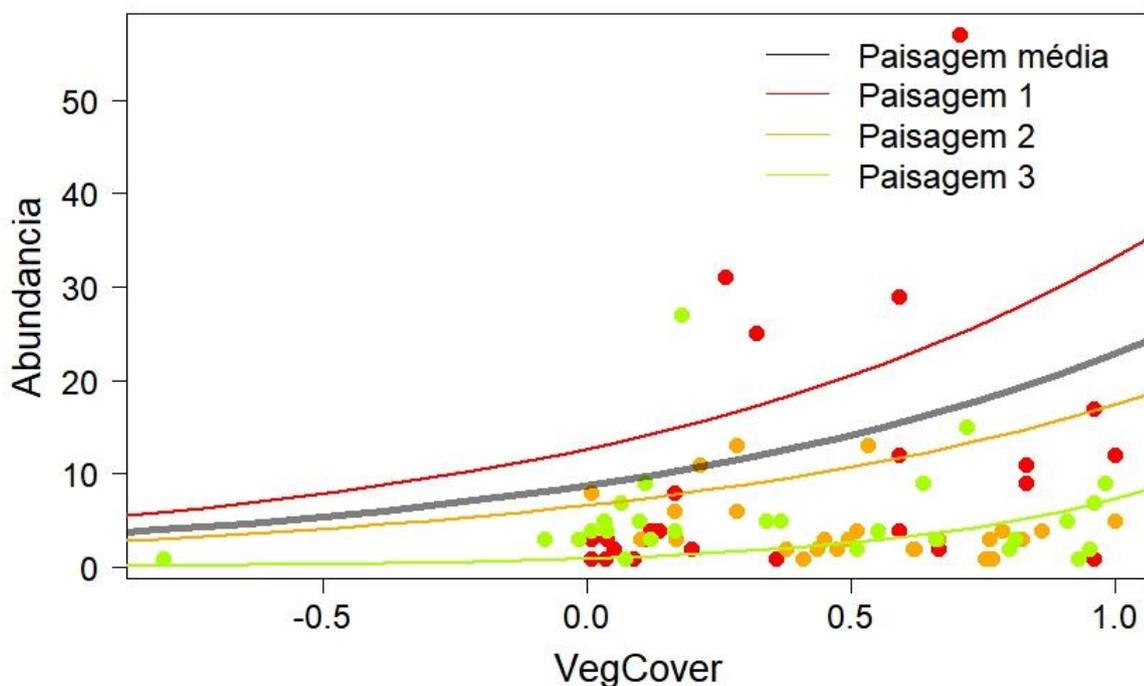
O melhor modelo demonstrou diminuição altamente significativa da abundância em CP (coeficiente angular de -2,11) quando comparado ao intercepto (FN), ou seja, há diminuição da abundância na ordem de 2,11, também redução significativa em ILP (coeficiente de -1,15), em

PD (coeficiente de -1,09) e PE (coeficiente de -1,02). Além disso é possível observar aumento na abundância de coleópteros (coeficiente de 0,95), a cada unidade de VegCover acrescida.

Esses resultados demonstram a importância da FN e da maior cobertura vegetal, para a manutenção da abundância de coleópteros nas paisagens estudadas. A presença de fragmentos de florestas nativas, conservados na paisagem, podem servir como fonte e/ou refúgio para os coleópteros do solo. Essa condição já foi verificada em outros estudos como, na floresta amazônica para a diversidade da fauna do solo (MARICHAL et al., 2014); na savana africana para a riqueza de besouros (Scarabaeidae) (LASCALEIA et al., 2018).

A predição do melhor modelo [Abundância ~ Uso+VegCover + (1 | Janela)] para cada paisagem e para a estrutura fixa está exposta na Figura 26, que demonstra a variação da abundância de Coleoptera com o efeito aditivo da cobertura do solo. Nesse sentido é possível visualizar tanto na Figura 25a, quanto na Figura 26, o que foi verificado no modelo misto, que a abundância varia com o uso e a cobertura do solo.

Figura 26 - Predição do melhor modelo de efeito misto generalizado (GLMM) em relação aos parâmetros fixos (Paisagem média) e as predições para cada paisagem separadamente, da variação da abundância de Coleoptera em relação a cobertura do solo (VegCover).



Fonte: Elaborada pela autora, 2020. Janela da paisagem de Chapecó (Paisagem 1); Paisagem de Pinhalzinho (Paisagem 2); Paisagem de São Miguel do Oeste (Paisagem 3).

Outros autores já observaram a importância da manutenção de fragmentos conservados e com intensidade de uso reduzido, nas paisagens agrícolas para a manutenção das comunidades dos coleópteros do solo, seja para a diversidade, abundância ou riqueza (NIERO; HERNÁNDEZ, 2017; NG et al., 2017; CIVIDANES et al., 2018; LASCALEIA et al, 2018). Esses estudos, corroboram com o resultado encontrado no presente capítulo, para a abundância de coleópteros do solo. Os resultados confirmaram a hipótese (ii) levantada, que o uso e a cobertura do solo influenciam na abundância de coleópteros nas paisagens estudadas.

### 8.3.3 Relação das comunidades de morfoespécies de Coleoptera com os usos do solo

De acordo com os resultados da PERMANOVA apresentados na Tabela 22, houve diferenças significativas na primeira coleta das comunidades de morfoespécies de Coleoptera entre os usos do solo, entre paisagens, mas sem interação significativa SUS × Paisagens. Na segunda coleta, as diferenças foram observadas entre usos, mas não houve diferença significativa entre paisagens assim como na interação SUS × Paisagens (Tabela 22).

Tabela 22 - PERMANOVA da comunidade de morfoespécies de Coleoptera da primeira e segunda coletas, com base no coeficiente de Bray-Curtis, para sistemas de uso do solo (SUS) como fatores fixos e as Janelas das paisagens como aleatórios.

Parâmetro	df	<i>Pseudo-F</i>	<i>p value</i>	Permutações	<i>p</i> (Monte-Carlo)
<b>Primeira Coleta</b>					
SUS	5	2,134	0,002	996	0,001*
Janelas das paisagens	2	1,881	0,002	997	0,007*
SUS x Janelas das paisagens	9	1,033	0,369	995	0,366
Resíduo	60				
Total	76				
<b>Segunda Coleta</b>					
SUS	5	1,437	0,043	997	0,016*
Janelas das paisagens	2	1,154	0,192	999	0,245
SUS x Janelas das paisagens	9	0,971	0,647	996	0,566
Resíduo	51				
Total	67				

Significativo  $p \leq 0,05$  (\*).

O objetivo do estudo não é avaliar as diferenças entre paisagens, mas para verificar o resultado exposto na Tabela 22 da primeira coleta. A comparação aos pares do fator com efeito aleatório das janelas da paisagem demonstrou diferença significativa de acordo com o teste de

Monte-Carlo ( $p \leq 0,05$ ) entre a paisagem de Chapecó e Pinhalzinho ( $p = 0,011$ ) e entre Chapecó e São Miguel do Oeste ( $p = 0,041$ ).

Na comparação aos pares entre os SUS, a primeira coleta apresentou dissimilaridades significativas das comunidades de morfoespécies de coleópteros da FN em comparação aos usos a PA, PD e ILP, também do uso PA em comparação com PD (Tabela 23). Na segunda coleta as diferenças significativas entre as comunidades de morfoespécies de Coleoptera foram observadas apenas entre PA e PD. Sendo assim, percebe-se que as diferenças entre PA e PD ocorreram em ambas as coletas, ou seja, mesmo com condições de temperatura e umidade completamente diferentes entre as épocas de amostragem, o padrão de diferença entre esses dois usos se manteve.

Ng et al. (2017), ao estudarem paisagens na região Sudeste da Austrália, verificaram que a comunidade de morfoespécies de coleópteros do solo apresentaram dissimilaridades (Bray-Curtis) entre a floresta nativa e os sistemas de produção agrícola, baseados na PERMANOVA. Portanto, os autores verificaram resultado muito semelhante ao observado no presente estudo, na primeira coleta, onde o clima estava mais quente e seco.

Tabela 23 - Comparações aos pares entre sistemas de uso do solo (SUS) da PERMANOVA da comunidade de Coleoptera, na primeira e segunda coletas com base no coeficiente de Bray-Curtis para os dados de abundância transformados.

SUS	Primeira Coleta		Segunda Coleta	
	t	p (Monte-Carlo)	t	p (Monte-Carlo)
FN, PA	1,6246	0,030*	1,2316	0,184
FN, PE	1,2497	0,177	1,1495	0,342
FN, PD	2,2433	0,001*	1,3157	0,078
FN, ILP	1,6297	0,037*	0,9603	0,553
FN, CP	1,3470	0,190	0,9363	0,603
PA, PE	1,0011	0,470	1,3738	0,194
PA, PD	1,5755	0,040*	1,5351	0,022*
PA, ILP	1,3188	0,154	1,1390	0,314
PA, CP	1,1364	0,379	1,1476	0,364
PE, PD	0,6852	0,892	1,3064	0,190
PE, ILP	1,1248	0,329	1,1662	0,408
PE, CP	1,1049	0,407	0,7370	0,712
PD, ILP	1,1703	0,277	1,0625	0,375
PD, CP	1,1035	0,386	1,0010	0,525
ILP, CP	1,1824	0,394	0,8969	0,594

Floresta nativa (FN); pastagem (PA); plantio de eucalipto (PE); plantio direto (PD); integração lavoura-pecuária (ILP); capoeira (CP). Resultado significativo  $p \leq 0,05$  (\*).

As diferenças observadas entre PA e PD podem estar relacionadas com o histórico de manejo, principalmente a entrada de animais de produção em PA e a variação da vegetação presente nos dois sistemas (Tabela 15, pág. 123). Mas essa variação também pode estar relacionada a outras variáveis ambientais e/ou espaciais, discutidas a seguir. Os resultados demonstrados, tanto na primeira quanto na segunda coletas, confirmam a hipótese (iii), de que ocorrem dissimilaridades das comunidades de morfoespécies de coleópteros entre os sistemas de uso do solo.

### **8.3.4 Influência das variáveis espaciais e ambientais na composição da comunidade de coleópteros**

Na partição da variância da PCNM, a explicação da variação ajustada das variáveis ambientais e espaciais significativas juntas, sobre a comunidade de morfoespécies de coleópteros do solo, foi 7% na primeira coleta e 5% na segunda (Figura 27). A variação explicada ajustada é recomendada para particionamento de variação, pois a porcentagem normalmente calculada da variação explicada é superestimada quanto mais próximo o número de parâmetros do modelo for do número de observações independentes (ŠMILAUER; LEPŠ, 2014).

Nesse sentido, apesar dos valores da explicação não parecerem muito elevados, deve-se levar em consideração que foram ajustados para evitar que a relação das variáveis ambientais e espaciais, com a comunidade dos coleópteros do solo, fosse superestimada.

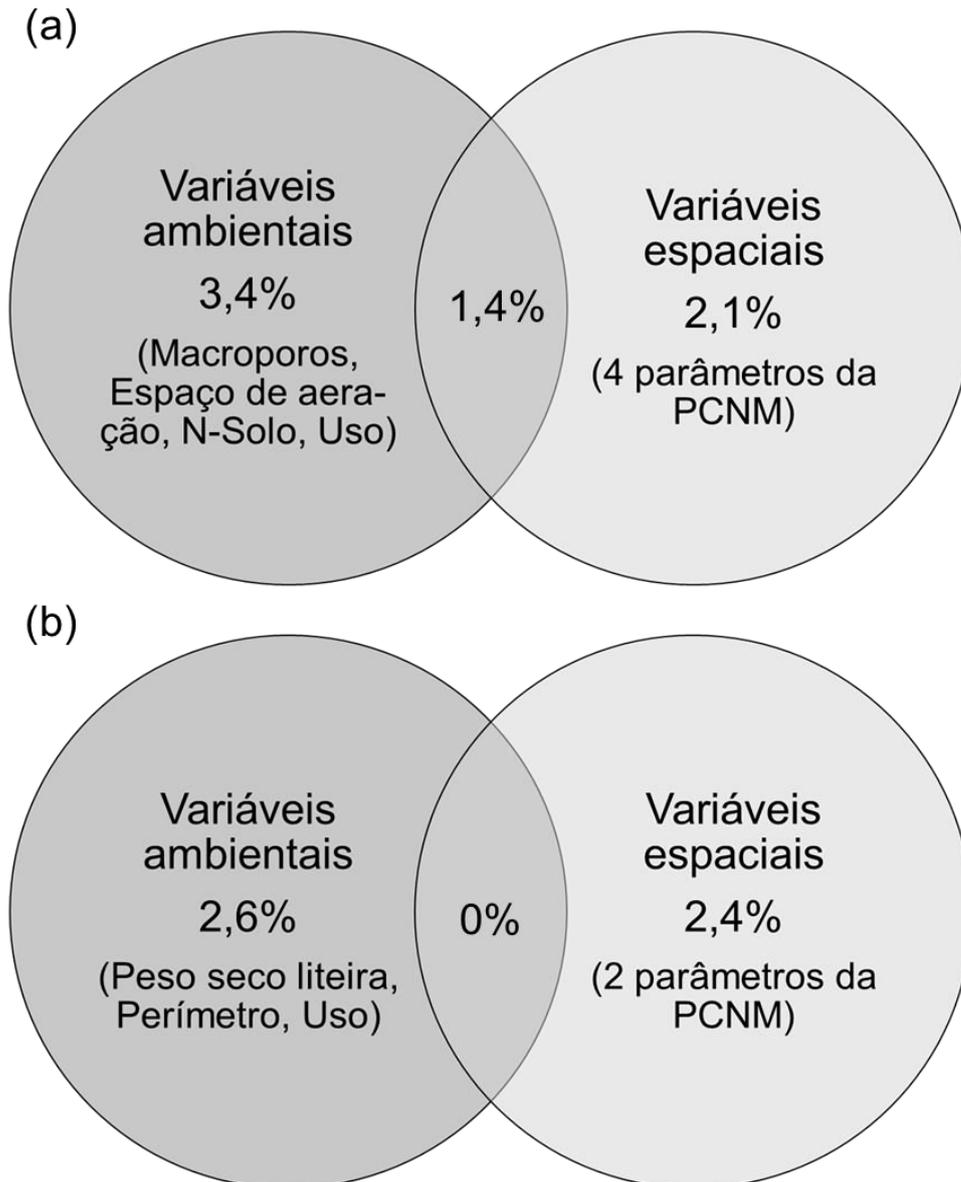
A fração das variáveis ambientais significativas na primeira coleta explicam 3,4% da variação na comunidade de coleópteros; já as variáveis espaciais explicam 2,1%; e 1,4% é explicado pela interação, ou seja, o efeito conjunto das variáveis ambientais e espaciais (Figura 27, a). Os valores dos testes das CCAs que demonstraram significância das frações foram  $F = 1,7$  e  $p = 0,001$  (variáveis ambientais + espaciais),  $F = 2,0$  e  $p = 0,001$  (variáveis ambientais),  $F = 1,7$  e  $p = 0,001$  (variáveis espaciais).

Na segunda coleta, a fração das variáveis ambientais significativas explicaram 2,6% da variação dos dados; 2,4% é explicado pela fração espacial e 0% é a variação explicada pela interação (Figura 27, b). Os valores dos testes das CCAs foram,  $F = 1,7$  e  $p = 0,001$  (variáveis ambientais + espaciais),  $F = 1,6$  e  $p = 0,001$  (variáveis ambientais),  $F = 1,7$  e  $p = 0,012$  (variáveis espaciais).

Os resultados expostos na Figura 27, confirmam a hipótese (iv) levantada. Há influência tanto de variáveis espaciais quanto ambientais na composição dos coleópteros presentes nas

paisagens. A influência na variação dos dados foi bastante similar para as variáveis espaciais e ambientais.

Figura 27 - Fração da variação explicada ajustada das variáveis ambientais e espaciais na comunidade da morfoespécies de Coleoptera pela partição da variância da PCNM, utilizando as janelas da paisagem como covariáveis, na primeira (a) e segunda (b) coletas.



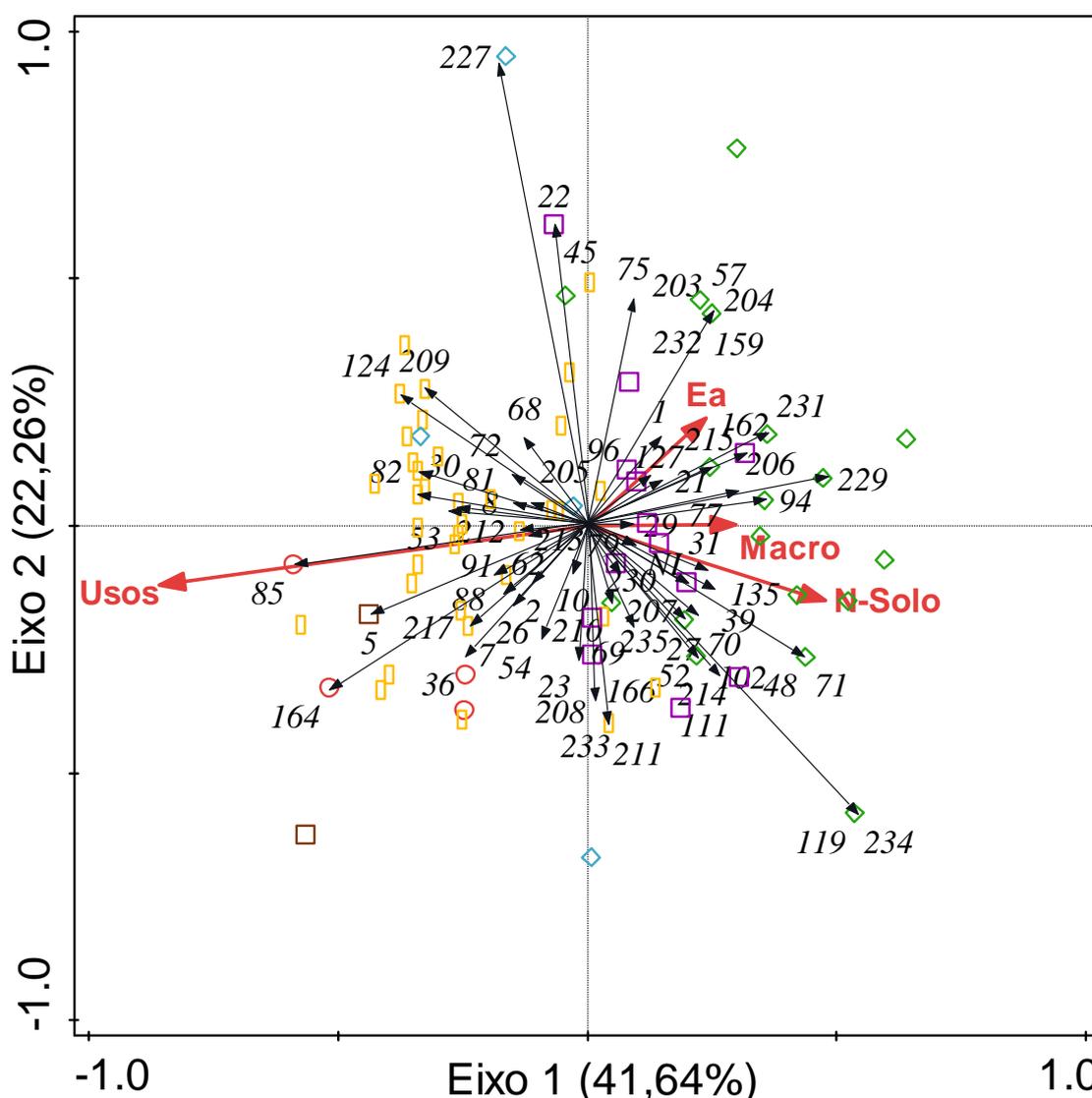
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

### 8.3.5 Relação das variáveis ambientais com as morfoespécies de Coleoptera

Considerando a porcentagem da fração explicada pelas variáveis ambientais na primeira coleta demonstrada na Figura 27a, 41,64% dessa parcela é explicado pelo eixo um e 22,26%

pelo eixo dois, totalizando 63,9% da variação dos dados (Figura 28). Nesta figura é demonstrada exclusivamente a relação dos atributos significativos avaliados com a composição das morfoespécies de coleópteros do solo.

Figura 28 - Diagrama da variação na composição de morfoespécies de Coleoptera explicada por variáveis ambientais após contabilizar os efeitos espaciais na partição da variância da PCNM, utilizando as janelas das paisagens do Oeste de Santa Catarina como covariáveis, na primeira coleta.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020. Espaço de aeração (Ea); macroporos (Macro); nitrogênio do solo (N-Solo); floresta nativa (◇); pastagem (□); plantio de eucalipto (◇); plantio direto (□); integração lavoura-pecuária (○); capoeira (□). Os números indicam as morfoespécies de coleópteros.

Os símbolos que representam as amostras por SUS nas Figuras 28 e 29, foram demonstrados apenas com o intuito de visualizar onde as morfoespécies de coleópteros estão distribuídas e ajudar na interpretação. É importante destacar que a distância entre os símbolos

das amostras, que representam os usos, se aproxima da dissimilaridade de sua composição de espécies. Contudo, segundo a interpretação gerada pelo programa estatístico CANOCO onde foi calculada, essa aproximação não é ótima, porque a escala dos *scores* não está focada nas distâncias entre as amostras. Pois o objetivo principal é verificar a relação das morfoespécies com as variáveis ambientais explicativas.

Na primeira coleta, as variáveis Macro, Ea e N-Solo demonstraram relação aproximada com diversas morfoespécies como por exemplo o Col. 01, Col. 162, Col. 231, Col. 206, Col. 94, Col. 229, Col. 77, Col. 31, Col. 29, Col. 135, Col. 71, pertencentes as famílias Hydrophilidae, Carabidae, Tenebrionidae, Ptiliidae, Scarabaeidae e Staphylinidae com mais representantes, grupos que ficaram mais próximos as amostras de FN e PA (aparecem com maior número de pontos projetados próximos a essas morfoespécies) (Figura 28). Quando projetada a flecha no sentido oposto dessas variáveis ambientais, é possível perceber correlação negativa com algumas morfoespécies como entre a variável Macro e os Col. 212, Col. 213 e 53, das famílias Carabidae; N-Solo e os Col. 81, Col. 72, Col. 82 e Col. 8, das famílias Nitidulidae, Carabidae, Anthicidae e Staphylidae; Ea com as morfoespécies Col. 62, Col. 88, Col. 91, Col. 2 e Col. 36, das famílias Scarabaeidae, Silvanidae e Staphylinidae, ; sendo que essas morfoespécies estão mais próximas as projeções das amostras de PD, ILP e CP.

A variável Usos apresentou relação com as morfoespécies mais abundantes em PD, uso representado pelo maior número de amostras do estudo, por essa razão a projeção de Usos ficou posicionada para a direção do sistema com maior número de amostras, como já era esperado (Figura 28). Essa projeção seguiu a mesma tendência na segunda coleta (Figura 29).

A variável Usos foi incluída nas análises do particionamento da variância da PCNM, por ser considerada um dos fatores mais importantes na composição das comunidades dos coleópteros (POMPEO et al., 2020). Essa variável pode influenciar nos atributos do solo, no microclima, na disponibilidade de recursos para diversos organismos, nas relações ecológicas entre outros processos importantes. Além disso, ficou evidenciado sua significativa contribuição quando realizada a partição das variâncias, pois sua relação com a composição das comunidades de coleópteros do solo foi verificada nas duas épocas de coleta (Figura 27).

Observando a porcentagem da fração explicada pelas variáveis ambientais na segunda coleta demonstrada na Figura 27b, 41,15% dessa parcela é explicado pelo eixo um e 34,9% pelo eixo dois (Figura 29). As variáveis ambientais significativas foram Usos, Perímetro e PS-Liteira.

A variável perímetro é uma propriedade da paisagem e está relacionada a extensão do fragmento onde as amostras foram coletadas, quanto maior o perímetro maior é o fragmento e



A variável PS-Liteira representa a quantidade de resíduo orgânico na superfície do solo e beneficiou algumas morfoespécies, Col. 209, Col. 152, Col. 71, Col. 127, Col. 27, Col. 25, das famílias Scarabaeidae Staphylinidae e Carabidae, sendo que as amostras de FN foram projetadas mais próximas a essas morfoespécies de coleópteros na ordenação. Essa variável é muito importante tanto do ponto de vista ecológico como das propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo.

A qualidade e quantidade da liteira, dependem da composição de espécies vegetais presentes no local de estudo e podem ser determinantes para a atividade biológica, estruturação do solo e disponibilidade de nutrientes (INKOTTE et al., 2015). A diversidade dos coleópteros do solo é bastante relacionada com a diversidade de plantas, mas também aos resíduos (liteira) que são adicionados e mantidos na superfície do solo (NG et al., 2018).

Nesse sentido, a qualidade e a quantidade da liteira geralmente é maior em florestas nativas quando comparadas aos monocultivos florestais e cultivos agrícolas, pois ao manter a cobertura vegetal diversificada, a camada de material orgânico da superfície do solo, recebe constante deposição de resíduos de diferentes espécies vegetais e animais (PEREIRA; BARETTA; CARDOSO, 2015). Esses resíduos, com diferentes quantidades de lignina e relação C/N, vão ter diferentes velocidades de decomposição, favorecendo a oferta de recursos para os coleópteros ao longo do tempo.

Muitos coleópteros possuem estreita relação com os resíduos orgânicos do solo, seja como recurso alimentar, abrigo ou local para sua reprodução e predação de outros invertebrados saprófagos. Staphylinidae e Scarabaeidae são bastante associadas ao material orgânico do solo e tem demonstrado relação com ambientes mais complexos como os usos florestais, com maior quantidade de resíduos na superfície, em diversos estudos no Brasil (FAVERO; SOUZA; OLIVEIRA, 2011; GARLET et al., 2015; POMPEO et al., 2016a; POMPEO et al., 2020).

Os resultados demonstrados nas Figuras 28 e 29, confirmam a hipótese (v) levantada. As variáveis do solo, liteira e paisagem, apresentam relação com as morfoespécies de Coleoptera e podem ajudar a explicar sua distribuição.

#### 8.4 CONCLUSÃO

A abundância de coleópteros varia dependendo do SUS e da cobertura vegetal, demonstrando aumento nas amostras com usos florestais e com maior cobertura do solo, evidenciando a importância dos fragmentos de florestas nativas nas paisagens.

As comunidades de morfoespécies de coleópteros são diferentes dependendo do SUS, sendo que na amostragem realizada na época mais quente e seca (primeira coleta), a floresta nativa foi diferente da pastagem, integração lavoura-pecuária e plantio direto. Assim como, pastagem foi diferente de plantio direto tanto na primeira quanto na segunda coleta (condições de menor temperatura e maior umidade).

As variáveis ambientais e espaciais apresentaram relação com a variação da comunidade de coleópteros do solo. As variáveis ambientais Usos, Macroporos, Nitrogênio do solo e Espaço de Aeração contribuíram na explicação da composição de morfoespécies de coleópteros do solo nas paisagens do Oeste de Santa Catarina, na primeira coleta. Na segunda coleta foram as variáveis Usos, Perímetro dos fragmentos e Peso Seco da Liteira que apresentaram relação com as morfoespécies de coleópteros do solo.

Foram identificadas morfoespécies de Coleoptera indicadoras dos sistemas de uso do solo (SUS), com destaque para a morfoespécie Col. 77 da família Staphylinidae, indicadora de floresta nativa, com alta abundância e maior taxa indicadora. A heterogeneidade da paisagem influencia na comunidade de morfoespécies de coleópteros do solo.

## REFERÊNCIAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Eds.) **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. 576p.

ALEXANDRE, D. **Fragmentação da paisagem e estrutura da comunidade de invertebrados edáficos**. 2019. 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. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical Soil Biology and Fertility: A handbook of methods**. Wallingford: C-A-B International, 1993. 265p.

AQUINO, A. M. de; CORREIA, M. E. F.; BADEJO, M. A. **Amostragem de Mesofauna edáfica utilizando funis de Berlese-Tüllgren modificado**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia. 2006. 4 p. (Embrapa Agrobiologia. Circular técnica,17).

ARENAS-CLAVIJO, A.; ARMBRECHT, I. Soil ants (Hymenoptera: Formicidae) and ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in a coffee agroforestry landscape during a severe-drought period. **Agroforestry Systems**, v. 93, n. 5, p. 1781-1792, 2019.

BARETTA, D. et al. Soil fauna and its relation with environmental variables in soil management systems. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 871–879, 2014.

BATES D. et al. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67, n.1, p. 1-48. 2015.

BOLKER, B.; R DEVELOPMENT CORE TEAM; GINÉ-VÁZQUEZ, I. **bbmle**: Tools for General Maximum Likelihood Estimation. R package version 1.0.23.1. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=bbmle>, 2020.

BROWN, G. G. et al. Biodiversidade da Fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: PARRON, L. M. et al. (Ed.). **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: EMBRAPA, 2015. p. 113–154.

CAMPOS, R. C.; HERNÁNDEZ, M. I. M. Changes in the dynamics of functional groups in communities of dung beetles in Atlantic forest fragments adjacent to transgenic maize crops. **Ecological Indicators**, v. 49, p. 216–227, 2015.

CASARI, A. S.; IDE S. Coleoptera. In: RAFAEL, J. Á. Et al. (Ed.). **Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia**. Ribeirão Preto: Holos; 2012.

CIVIDANES, F. J. et al. Edge effects on carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) between forest fragments and agricultural fields in south-east Brazil. **Austral Entomology**, v. 57, n. 1, p. 9–16, 2018.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Solos; 1997.

CLARKE, K. R.; GORLEY, R.N. **PRIMER: Getting started with v6**. Plymouth: PRIMER-E Lta. 2005. p.12.

DESUÓ, I. C.; DESUÓ, I. C.; GOMES, L. Ordem Coleoptera: aspectos gerais e aplicação na importância forense. In: GOMES, L. (Ed.). **Entomologia Forense: novas tendências e técnicas nas ciências criminais**. São Paulo: Technical Books Editora, 2010. p. 183-207.

FARIAS, P. M. DE; HERNÁNDEZ, M. I. M. Dung beetles associated with agroecosystems of southern Brazil: Relationship with soil properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1–13, 2017.

FAVERO, S.; SOUZA, H. A.; OLIVEIRA, A. K. M. Coleoptera (Insecta) as forest fragmentation indicators in the Rio Negro sub-region of the Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 1, p. 291-295, 2011.

FRANÇA, F. et al. Do space-for-time assessments underestimate the impacts of logging on tropical biodiversity? An Amazonian case study using dung beetles. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 4, p. 1098–1105, 2016.

GARLET, J. et al. Fauna de Coleoptera Edáfica em Eucalipto sob Diferentes Sistemas de Controle Químico da Matocompetição. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 239–248, 2015.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RAYAN, P. D. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, vol. 4, n. 1, p. 9, 2019.

HARTIG, F. **DHARMA**: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models. R package version 0.3.1. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=DHARMA>. 2020.

INKOTTE, J. et al. Deposição de serapilheira em reflorestamentos de eucalipto e florestas nativas nas regiões Planalto e Oeste do Estado de Santa Catarina. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106, p. 261-270, 2015.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregation. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy; 1965. p. 499-510.

LASCALEIA, M. C. et al. Dung beetle richness decreases with increasing landscape structural heterogeneity in an African savanna-agricultural mosaic. **Insect Conservation and Diversity**, v. 11, n. 4, p. 396–406, 2018.

LEACH, E. et al. Potential of ants and beetles as indicators of rainforest restoration: characterising pasture and rainforest remnants as reference habitats. **Ecological Management & Restoration**, v. 14, n. 3, p. 202-209, 2013.

LIMA, A. C. **Insetos do Brasil**. Coleópteros 1ª, 2ª e 3ª parte. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Agronomia; 1952–55.

- MARICHAL, R. et al. Soil macroinvertebrate communities and ecosystem services in deforested landscapes of Amazonia. **Applied Soil Ecology**, v. 83, p. 177–185, 2014.
- MONNÉ, M. L.; COSTA, C. 2018. **Coleoptera in Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil**. PNUD. Disponível em: <<http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/223>>. Acesso em: abr. 2020.
- NG, K. et al. Contrasting beetle assemblage responses to cultivated farmlands and native woodlands in a dynamic agricultural landscape. **Ecosphere**, v. 8, n. 12, 2017.
- NG, K. et al. Disentangling the effects of farmland use, habitat edges, and vegetation structure on ground beetle morphological traits. **Oecologia**, v. 188, n. 3, p. 645–657, 2018.
- NIERO, M. M.; HERNÁNDEZ, M. I. M. Influência da paisagem nas assembleias de Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) em um ambiente agrícola no sul de Santa Catarina. **Biotemas**, v. 30, n. 3, p. 37–48, 2017.
- PEREIRA, J. M.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. **Fauna edáfica em florestas de Araucária**. In: CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F. (Eds.). Floresta com Araucária, composição florística e biota do solo. Piracicaba: FEALQ, p. 153–180. 2015.
- POMPEO, P. N. et al. Coleoptera Diversity and Soil Properties in Land Use Systems. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 27, n. 3, e20180068, 2020.
- POMPEO, P. N. **Diversidade de morfotipos e famílias de Coleoptera em sistemas agrícolas e florestais do Planalto Catarinense**. 2016. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2016.
- POMPEO, P. N. et al. Diversidade de Coleoptera (Arthropoda: Insecta) e atributos edáficos em sistemas de uso do solo no Planalto Catarinense. **Scientia Agraria**, v. 17, n. 1, p. 16–28, 2016a.
- POMPEO, P. N. et al. Fauna e sua relação com atributos edáficos em Lages, Santa Catarina-Brasil. **Scientia Agraria**, v. 17, n. 1, 2016b.
- POMPEO, P. N. et al. Morphological diversity of coleoptera (Arthropoda: Insecta) in agriculture and forest systems. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 41, p. e0160433, 2017.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 2020.

ROBERTS, D. W. **labdsv**: Ordination and Multivariate Analysis for Ecology. R package version 2.0-1. <https://CRAN.R-project.org/package=labdsv>, 2019.

SALOMÃO, R. P. et al. Landscape structure and composition define the body condition of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) in a fragmented tropical rainforest. **Ecological Indicators**, v. 88, p. 144–151, 2018.

SANTOS, M. A. B. et al. Morphological Diversity of Springtails in Land Use Systems. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 42, p. e0170277, 2018.

ŠMILAUER, P.; LEPŠ, J. **Multivariate analysis of ecological data using CANOCO 5**. Cambridge university press, 2014. 527 p.

STATSOFT, Inc. **STATISTICA (data analysis software system), version 10**. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com). 2011.

TER BRAAK C.J.F.; ŠMILAUER P. **Canoco reference manual and user's guide**: software for ordination, version 5.0. Ithaca: Microcomputer Power, 2012. 496 p.

TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. F. **Estudo dos insetos**. 2nd ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

VICIAN, V. et al. Influence of tree species and soil properties on ground beetle (Coleoptera: Carabidae) communities. **Acta Oecologica**, v. 91, p. 120–126, Mar. 2018.



## 9 CAPÍTULO 5: AS PAISAGENS AGRÍCOLAS DO BIOMA MATA ATLÂNTICA DETERMINAM OS *TRAITS* ECO-MORFOLÓGICOS DOS COLEÓPTEROS DO SOLO?

### RESUMO

O objetivo do presente capítulo foi avaliar os *traits* morfológicos e de formas de vida (adaptação ao solo) dos coleópteros do solo, nos fragmentos dos sistemas de uso do solo em paisagens no Oeste de Santa Catarina. Utilizaram-se avaliações dos coleópteros em escala da paisagem, em três municípios da região Oeste (Chapecó, Pinhalzinho e São Miguel do Oeste). Em cada paisagem foi estabelecida uma grade amostral dentro de uma janela com diâmetro de 1 km e pontos de coleta com aproximadamente 167 m de distância entre si. Foram realizadas duas amostragens e os métodos de coleta dos invertebrados envolveram a escavação de monólitos de solo, armadilhas de queda e *cores*. Ocorreu distinção na composição de *traits* morfológicos e de formas de vida de coleópteros, nos sistemas de uso do solo. As formas de vida hemiedáficas e epígeas apresentaram associação com plantio de eucalipto e capoeira, respectivamente. A floresta nativa favoreceu coleópteros com tamanho do corpo maior, em relação aos sistemas pastagem, plantio direto e plantio de eucalipto. O índice de diversidade funcional (FD) dos coleópteros do solo foi mantida ao longo da paisagem, assim como a diversidade de Simpson, mesmo com as mudanças dos sistemas de uso do solo. A heterogeneidade dos fragmentos das paisagens do Oeste de Santa Catarina, influenciou nos *traits* eco-morfológicos dos coleópteros, pois estes apresentaram variação dependendo do sistema de uso do solo.

### 9.1 INTRODUÇÃO

A fragmentação de habitats pode trazer consequências negativas para a biodiversidade associada as paisagens, pois a remoção de vegetação natural e intensificação da agricultura desencadeiam a diminuição na diversidade de espécies, simplificando a composição da comunidade e consequentemente, diminuindo os serviços ecossistêmicos (ARENAS-CLAVIJO; LAMBRECHT, 2019). Medidas de riqueza e diversidade de espécies de coleópteros do solo podem ajudar a compreender a composição das comunidades, verificar sua relação com as alterações ambientais e servir como medidas de monitoramento de paisagens e ecossistemas (LASCALEIA et al., 2018; NIERO; HERNÁNDEZ, 2017).

Contudo, podem não fornecer informações suficientes para entender com profundidade, se a variação taxonômica pode impactar na variação funcional. Nesse sentido, a avaliação de

“*traits*” específicos, ou grupos funcionais contribuem para o entendimento do funcionamento e/ou processos que ocorrem no solo e podem elucidar o papel dos coleópteros nos ecossistemas (PEY et al., 2014) e os impactos das mudanças ambientais.

Estudos tem demonstrado que a abundância, tamanho corporal, condição fisiológica e diversidade de espécies de Coleoptera são sensíveis a diferentes características da paisagem (NG et al., 2018; SALOMÃO et al., 2018). Assim, demonstram a importância de compreender o efeito da perturbação ambiental na condição corporal das espécies, avaliando *traits* morfológicos e fisiológicos. Além de manter não apenas populações abundantes, mas também a diversidade taxonômica e funcional em áreas fragmentadas (SALOMÃO et al., 2018).

A literatura tem avançado em relação ao estudo de coleópteros terrestres utilizando a abordagem de *traits*, pois esta pode contribuir de forma considerável para elucidar a função desses organismos edáficos, também dos ecossistemas onde ocorrem (FOUNTAIN-JONES; BAKER; JORDAN, 2015). Contudo, as pesquisas já publicadas, em grande parte, trataram da avaliação da variação desses *traits* decorrentes da fragmentação das paisagens ou intensificação de manejo, de forma intraespecífica ou voltada para uma única subfamília de Coleoptera (VANDEWALLE et al., 2010; NICHOLS et al., 2013; LASCALEIA et al., 2018).

A exemplo de Mickaël et al. (2015) que estudaram pomares comerciais onde as diferenças no manejo selecionaram indivíduos (Coleoptera: Carabidae), com base em sua morfologia (tamanho, marcha, vôo e nutrição) e suas preferências ecológicas (diversidade de alimentos e habitat). Outro estudo verificou que mudanças na biomassa do corpo de coleópteros (Scarabaeidae) estão ligadas a distúrbios provocados pelo manejo em florestas primárias (FRANÇA et al., 2016). Neste contexto, se faz necessário avançar nesses estudos e entender a variação funcional dos coleópteros do solo em paisagens agrícolas do bioma Mata Atlântica, abrangendo a ordem taxonômica Coleoptera em sua forma geral e verificar a relação com a mudança no uso da terra. Somado a isso, avaliar *traits* eco-morfológicos, que apresentam relação com a adaptação a vida no solo, podem ajudar a compreender a interação das mudanças ambientais acima e no interior do solo (POMPEO et al., 2017).

Essas avaliações podem ajudar a compreender não só as alterações nos ecossistemas, decorrentes da fragmentação das paisagens, em nível de superfície, mas também a relação dos coleópteros com o sistema solo. Neste cenário, as hipóteses testadas foram: (i) Há variação na composição dos *traits* morfológicos e de formas de vida (adaptação ao solo) dos coleópteros, nos fragmentos dos sistemas de uso do solo (SUS) presentes nas paisagens; (ii) As mudanças nos sistemas de uso do solo podem servir como filtro para o tamanho do corpo dos coleópteros que ocorrem ao longo das paisagens estudadas e (iii) Ocorrem diferenças na diversidade

funcional dos coleópteros do solo entre os SUS. Assim, o objetivo do presente capítulo foi avaliar os *traits* morfológicos e de formas de vida (adaptação ao solo) dos coleópteros do solo, nos fragmentos dos sistemas de uso do solo em paisagens no Oeste de Santa Catarina.

## 9.2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 9.2.1 Locais de estudo e amostragem

Os locais de estudo foram descritos com mais detalhes no Capítulo 3, pág. 119, pois tratam do mesmo projeto. Para o desenvolvimento desta etapa do estudo foram selecionadas paisagens que continham áreas de sistema de plantio direto e manchas ou fragmentos florestais, em três municípios do Oeste do Estado de Santa Catarina, sendo: Chapecó, Pinhalzinho e São Miguel do Oeste (Figura 16, pág. 121). Foram amostrados seis usos do solo, plantio direto (PD), floresta nativa (FN), pastagem (PA), plantio de eucalipto (PE), integração lavoura-pecuária (ILP) e capoeira (CP). Outras informações sobre os locais de estudo podem ser obtidos no Capítulo 3 (pag. 123).

Em cada uma das paisagens com áreas agrícolas e florestais foi determinada uma janela amostral com um diâmetro de 1 km, onde foi estabelecida grade amostral com pontos de coleta com aproximadamente 167 m de distância entre si. O número de pontos foi de 29 em cada paisagem (Figura 17, pág. 124). Todos os pontos foram georreferenciados e realizadas amostragens de solo para análises químicas, físicas, microbiológicas, Coleópteros do solo, serapilheira e percentual de cobertura do solo.

As amostragens foram realizadas em duas épocas distintas. A “primeira coleta” foi em abril de 2018 (clima quente e seco), no início do outono e a “segunda coleta” em agosto do mesmo ano (clima frio e úmido), no inverno. De acordo com os dados meteorológicos do Centro de informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM, Epagri), para os municípios estudados no mês de abril estava mais quente e seco, com a temperatura média mensal de 22,48° C e soma mensal das precipitações de 42,20 mm. No mês de agosto o clima estava mais frio e úmido, a temperatura média mensal foi de 14,64° C e soma mensal das precipitações foi de 119,80 mm.

É possível visualizar os mapas com os pontos amostrados de cada janela nos Anexos A, B e C; também estão disponíveis os mapas das classes de solo das paisagens nos Anexos D, E e F. Mais informações sobre os locais de estudo e amostragem podem ser encontrados nos

Apêndices B1, B2 e B3. Os mapas de cobertura e uso da terra poder ser observados nos Anexos G, H e I.

### 9.2.2 Amostragem da Liteira

A coleta e análises da liteira (serapilheira e palhada) foram descritas mais detalhadamente nos Capítulos 3 e 4 (págs. 119 e 145). A serapilheira foi retirada em quatro locais ao redor de cada pondo de coleta com um amostrador de madeira de 20 cm × 20 cm, para a determinação do peso seco da liteira (PS-Lit), carbono total da liteira (C-Lit), o nitrogênio total da liteira (N-Lit). Para avaliar a cobertura do solo, foram tiradas fotografias em cada ponto de coleta, sendo registrada presença ou ausência de vegetação, serapilheira/palhada e o solo nu. Para obter essas diferentes porcentagens de cobertura do solo uma única variável ambiental, foi calculado um índice de cobertura vegetal (*VegCover index*), seguindo metodologia de Silva et al. (2017).

### 9.2.3 Amostragem, identificação e medição dos *traits* dos coleópteros do solo

Para a coleta dos organismos da ordem Coleoptera, foram utilizadas três metodologias distintas, a primeira ocorreu com a coleta de monólitos de solo, baseado no *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF); a segunda amostragem foi com armadilhas do tipo "*Pitfall traps*"; e por fim, o terceiro método foi a utilização de *Cores*, para extração durante 12 dias em funis de Berlese-Tullgren. Mais detalhes nos Capítulos 3 e 4. Posteriormente, os coleópteros foram identificados em morfoespécies com auxílio de microscópio estereoscópico. A metodologia de identificação das morfoespécies foi descrita nos Capítulos 1 e 4, pág. 53 e 145.

Foram avaliadas as características morfológicas dos coleópteros baseado no valor *Ecomorphological index* (EMI) (PARISI, 2001; PARISI et al., 2005; POMPEO et al., 2017). Essa metodologia que tem o objetivo de separar os organismos de acordo com seu grau de adaptação ao solo, através da observação de suas características morfológicas (*life form traits*).

Para tal, a avaliação dos morfotipos consiste na observação de quatro características de cada coleóptero, a saber: comprimento do corpo superior ou inferior a 2 mm, tegumento fino ou rígido, asas membranosas reduzidas ou ausentes e olhos reduzidos/ausentes ou normais dos insetos (Tabela 7, pág 94). A metodologia do EMI já foi descrita no Capítulo 2 (Item 6.2.3), onde podem ser conferidas mais informações.

Além das avaliações dos *life form traits* também foram mensurados outros *traits* morfológicos (mm) de cada indivíduo de Coleoptera amostrado, por meio do Software AxioVision 4.9© (ZEISS, 2017). As medições foram:

- Tamanho do corpo (comprimento), medido na posição dorsal e longitudinal;
- Largura do pronoto, medido na posição dorsal, na parte central;
- Comprimento do pronoto, medido na posição dorsal, na parte central;
- Comprimento do élitro direito, medido na posição dorsal, na borda interna;
- Largura do élitro direito, medido na posição dorsal, na parte central;
- Comprimento fêmur direito, medido na posição ventral;
- Comprimento da antena direita.
- A partir dessas medições foram determinadas as relações de comprimento do pronoto/largura do pronoto e comprimento do élitro/largura do élitro.

A definição dos *traits* morfológicos medidos dos coleópteros, foi baseada em trabalhos já publicados que evidenciaram sua relação com o meio onde vivem (LAPARIE et al., 2010; FOUNTAIN-JONES; BAKER; JORDAN, 2015). Geralmente esses *traits* são considerados de efeito, resposta ou ambos e relacionados a preferência de habitat e capacidade de caça (antena); habilidade de forrageamento e fecundidade (tamanho do corpo); capacidade de dispersão (comprimento da perna e tamanho do corpo); uso do micro-habitat (pronoto) e resistência a parasitas (élitro) (FOUNTAIN-JONES; BAKER; JORDAN, 2015).

#### 9.2.4 Análises dos dados

##### *Composição dos traits dos coleópteros do solo*

As análises de dados consideraram as abundâncias de coleópteros do solo dos três métodos de coleta juntos (TSBF, armadilhas de queda e *cores*), por época de amostragem, para a matriz das variáveis resposta. Essa forma de utilização dos dados já foi descrita em outros estudos (POMPEO et al., 2016b; POMPEO et al., 2017; ALEXANDRE, 2019). Foi calculado o *Trait Community Weighted Mean* (mT), essa métrica é entendida como a definição do atributo funcional dominante em uma comunidade ou a proporção de um determinado grupo funcional. É calculado com a média de indivíduos de uma determinada morfoespécie ou morfotipo, dividida pela abundância total dos coleópteros e ponderada pelo valor específico do *trait*, considerando sua participação real em relação ao total de coleópteros (GARNIER et al., 2004; VANDEWALLE et al., 2010; POMPEO et al., 2017).

Foram realizadas análises multivariadas para verificar a composição dos *traits* de Coleoptera mensurados. Considerando que os dados de resposta apresentaram um gradiente com comprimento  $< 3$  unidades de desvio padrão na primeira e segunda coleta, o método linear é recomendado. Portanto, optou-se por fazer a *Principal Component Analysis* (PCA), para cada época estudada, utilizando as paisagens como covariável. O mT, foi utilizado como variável resposta e os SUS utilizados para interpretar a variação dos dados nas PCAs, utilizando o *software* CANOCO 5.0 (ter BRAAK & SMALAUER, 2012).

#### *Variação do tamanho do corpo dos coleópteros nos usos da terra*

*Linear Mixed Models* (LMM) foram realizados para quantificar o efeito relativo dos usos do solo, cobertura vegetal e a massa da liteira, sobre o *trait* morfológico relacionado ao tamanho do corpo dos coleópteros, representado pelo comprimento longitudinal em mm. A variável resposta “mT do *trait* comprimento do corpo”, possui valores contínuos e atende a premissa da distribuição normal dos resíduos, requerida para os modelos LMM. As janelas da paisagem foram consideradas como efeito aleatório, e os “SUS”, “VegCover” e “PS-lit” como efeito fixo para a variável resposta “mT Comprimento do Corpo”, utilizando o pacote *nlme* (PINHEIRO et al., 2020).

Optou-se pela realização da análise LMM utilizando os dados de mT do *trait* “Comprimento do corpo” de coleópteros como variável resposta, por já terem sido publicados estudos evidenciando o aumento do tamanho do corpo dos coleópteros em áreas com maior cobertura vegetal, demonstrando que as mudanças na cobertura e usos do solo podem ser um filtro não só para a abundância, riqueza ou diversidade, mas também para indivíduos de tamanhos diferenciados (VANDEWALLE et al., 2010; SALOMÃO et al., 2018). Nesse sentido, é importante entender como ocorre a variação desse *trait* nos usos ao longo das paisagens estudadas, que também pode estar relacionado com VegCover, como ocorreu para a variável abundância (Capítulo 4, pág. 157).

Os modelos calculados foram classificados e selecionado o melhor modelo, com base em ANOVAs e confirmado pela análise dos valores do coeficiente do Critério de informações de Akaike Corrigido (AICc) e do peso do modelo, utilizando o pacote *bbmle* (BOLKER; R CORE TEAM; GINÉ-VÁZQUEZ, 2020). O diagnóstico dos resíduos foi verificado com a função “plotresid” e teste de Shapiro, no pacote *RVAideMemoire* (HERVÉ, 2020). Todas as análises relacionadas ao LMM foram realizadas no *software* estatístico R (R CORE TEAM, 2020).

### *Diversidade funcional dos coleópteros do solo*

Além disso, foi calculada a *Functional Diversity* (FD) que é a diferença entre espécies em uma comunidade em relação aos seus *traits* (RAO, 1982; LEPŠ et al., 2006). O FD é baseado no índice Rao e é igual à soma da dissimilaridade dos *traits* entre todos os possíveis pares de espécies ponderado pelo produto da abundância relativa das espécies, ou seja, é como o índice de Simpson, mas nesse caso ao invés de representar a probabilidade de dois indivíduos serem da mesma espécie como ocorre em Simpson, o FD representa a probabilidade destes, serem funcionalmente diferentes (VANDEWALLE et al., 2010). Para verificar as diferenças significativas da diversidade de morfoespécies de Simpson (1-D) e FD para os coleópteros do solo, entre os SUS amostrados nas paisagens estudadas, nas duas coletas, realizou-se análise não-paramétrica de Kruskal-Wallis, no *software* STATISTICA 10 (STATSOFT, 2011).

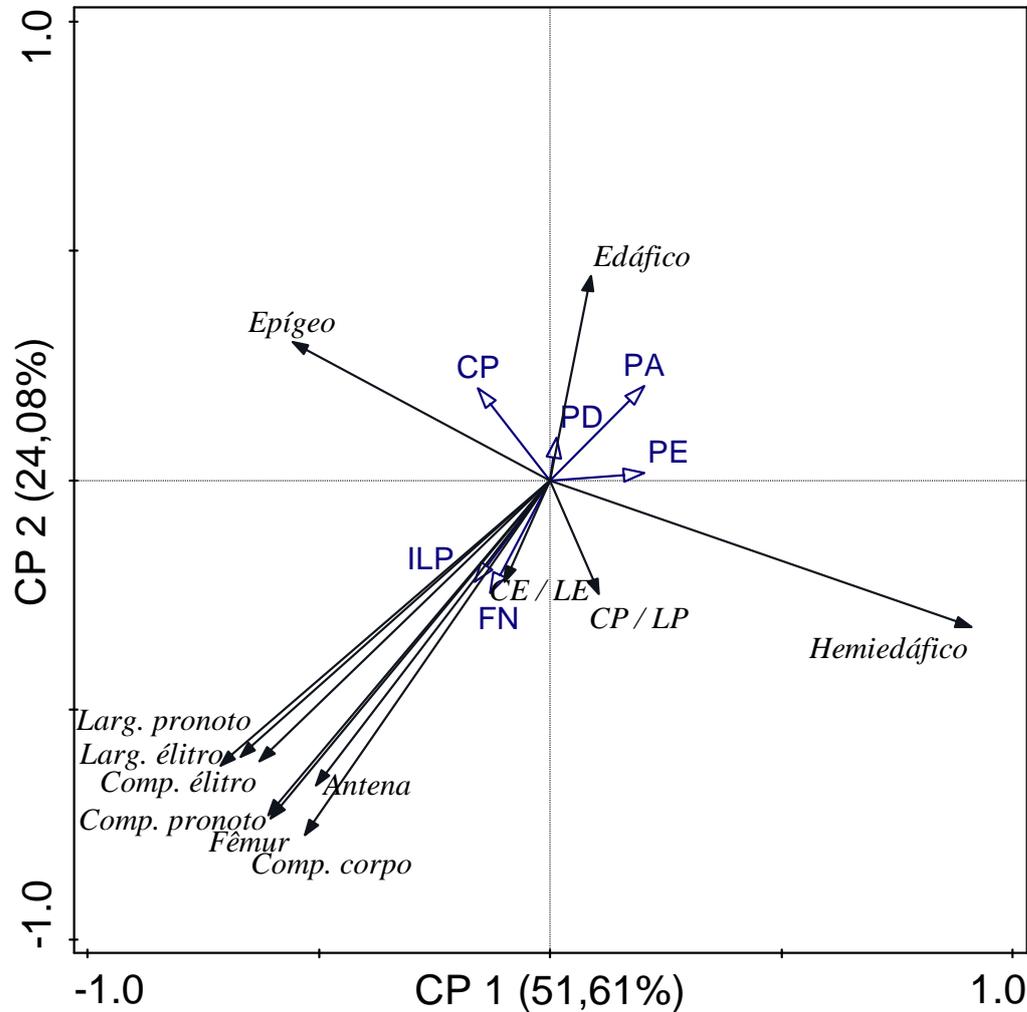
## 9.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### **9.3.1 Composição dos *traits* dos coleópteros do solo**

As PCAs, para os valores de mT dos *traits* de coleópteros, tanto na primeira coleta quanto na segunda (Figuras 30 e 31), apresentaram distinção da sua composição SUS das paisagens do Oeste de Santa Catarina, por meio da variação na componente principal 1 (CP1) e na componente principal 2 (CP2). Demonstrando que os usos podem ajudar a demonstrar variações a distribuição dos *traits* morfológicos e de *life form*.

Para os *traits* mensurados na primeira coleta (Figura 30), o eixo da componente principal 1 (CP1) explicou 51,61% da variação dos dados e o eixo da CP2 explicou 24,08%, totalizando 75,69% da variação. Onde os *traits* morfológicos ficaram mais correlacionados entre si e distribuídos entre os sistemas ILP e FN. Os coleópteros hemiedáficos foram mais associados ao RE, os edáficos com PD e PA e os epígeos com CP.

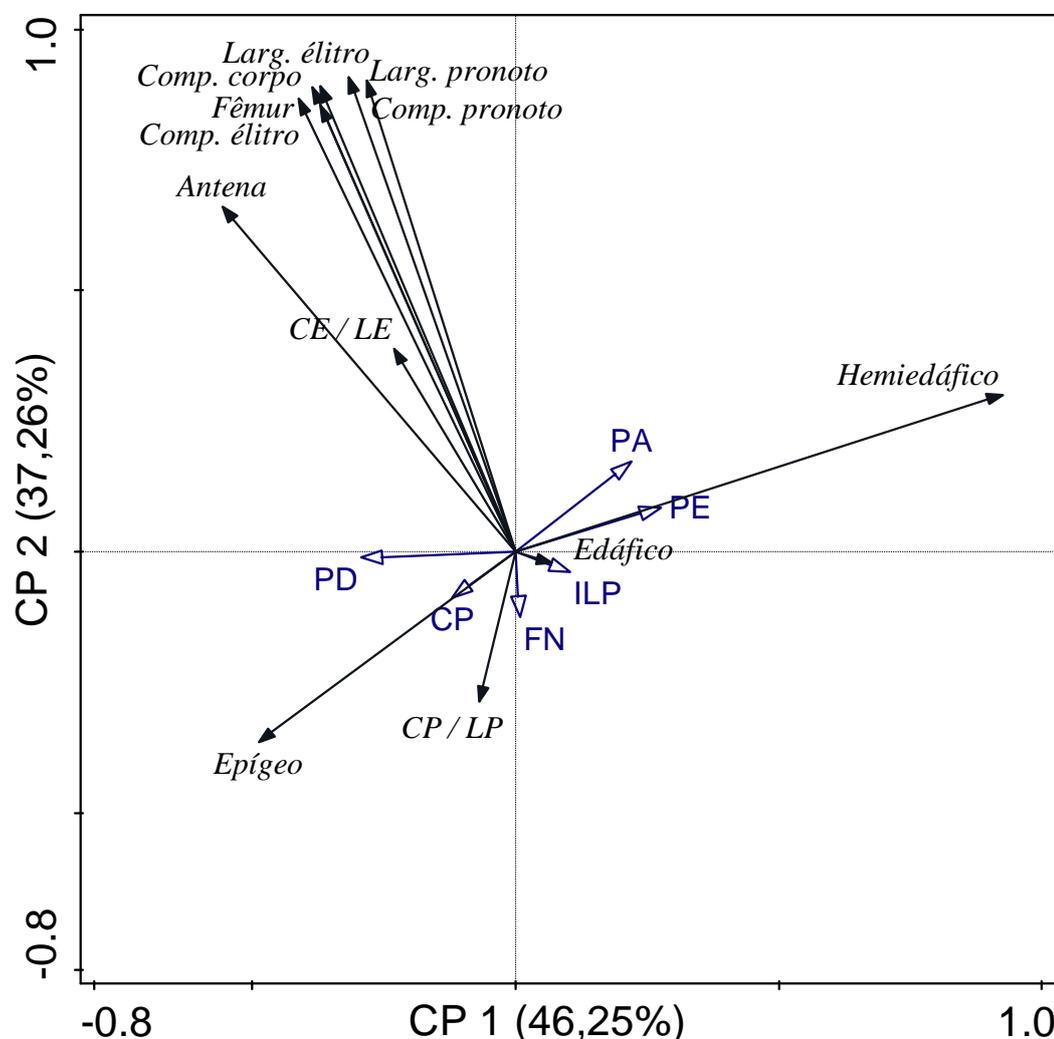
Figura 30 - Análise de componentes principais da variação dos *traits* de coleópteros do solo, utilizando os sistemas floresta nativa (FN), plantio de eucalipto (PE), pastagem (PA); integração lavoura-pecuária (ILP), plantio direto (PD) e capoeira (CP) para interpretação dos resultados e as paisagens como covariável, na primeira coleta do Oeste de Santa Catarina.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020. Largura (Larg.); comprimento (Comp.); relação comprimento/largura do élitro (CE/LE); relação comprimento/largura do pronoto (CP/LP).

Observando os resultados dos *traits* avaliados na segunda coleta (Figura 31), a CP1 explicou 46,25% da variação dos dados e a CP2 explicou 24,08%, onde os *traits* morfológicos ficaram mais correlacionados entre si e distantes dos SUS, com exceção da relação CP/LP, que ficou mais associada a FN e com maior distância, ao CP. Os coleópteros hemiedáficos foram mais associados ao PE, também a PA, mas com maior distância. Os epígeos associaram-se com CP, assim como na primeira coleta. Os coleópteros edáficos, com aumento menos acentuado, ficaram associados ao ILP.

Figura 31 - Análise de componentes principais da variação dos *traits* de coleópteros do solo, utilizando os sistemas floresta nativa (FN), plantio de eucalipto (PE), pastagem (PA); integração lavoura-pecuária (ILP), plantio direto (PD) e capoeira (CP) para interpretação dos resultados e as paisagens como covariável, na segunda coleta do Oeste de Santa Catarina.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020. Largura (Larg.); comprimento (Comp.); relação comprimento/largura do élitro (CE/LE); relação comprimento/largura do pronoto (CP/LP).

Observando as PCAs, é importante destacar o aumento dos *traits* morfológicos nos sistemas FN e ILP na primeira coleta, pois sabe-se que estes estão relacionados com a capacidade de dispersão e preferência de habitat (FOUNTAIN-JONES; BAKER; JORDAN, 2015). A diversidade e disponibilidade de recursos, principalmente em FN, considerando sua maior diversidade florística, cobertura do solo por plantas e resíduos orgânicos, podem ter favorecido indivíduos de tamanho maior (VANDEWALLE et al., 2020). Não apenas isso, mas as condições de solo seco e maiores temperaturas na primeira coleta podem ter limitado a fluxo

de organismos maiores, da interface solo-liteira, nas áreas adjacentes da paisagem, onde ocorrem os demais usos e piora nas condições microclimáticas.

Salomão et al. (2018) em estudo realizado no México, demonstraram que os distúrbios ambientais podem afetar as condições do corpo de espécies de coleópteros (Scarabaeinae). Os autores demonstraram que a massa seca do corpo, tamanho do corpo, massa lipídica e massa muscular dos coleópteros são sensíveis as características da paisagem. Ng et al. (2018), ao estudarem coleópteros do solo em paisagens na Austrália, verificaram que a estrutura vegetal, incluindo os usos agrícolas, influenciam significativamente os *traits* morfológicos.

Na segunda coleta, não foi possível interpretar a relação dos *traits* morfológicos dos coleópteros com algum SUS específico, apenas a relação CP/LP com FN, possivelmente porque as condições de umidade no período de amostragem (agosto de 2018), da vegetação e do solo, permitiram a maior dispersão de indivíduos de diferentes tamanhos ao longo da paisagem. Contudo, as formas de vida hemiedáficas e epígeas apresentaram associação com os usos PE e CP, respectivamente, nas duas amostragens, ou seja, os indivíduos que ocorreram em CP são predominantemente epígeos e os que ocorreram em PE são predominantemente hemiedáficos, pois o *trait* representado na PCA é baseado no mT que é a média ponderada deste na comunidade.

Já em relação aos edáficos, foram associados aos usos PD e ILP, cujo manejo se dá com produção em semeadura direta, uso de adubação e calagem (Tabela 15, pág. 123), características que podem ajudar a explicar o predomínio desse grupo, devido as alterações nos atributos do solo ou outras características não avaliadas no presente capítulo. A relação dos coleópteros edáficos com esses usos da terra, já foram evidenciadas na região do Planalto de Santa Catarina por Pompeo et al. (2017).

Os resultados demonstrados nas PCAs (Figuras 30 e 31), confirmam a hipótese (i) levantada. Há variação na composição dos *traits* morfológicos e de formas de vida (adaptação ao solo) dos coleópteros, nos fragmentos dos sistemas de uso do solo (SUS) presentes nas paisagens.

### **9.3.2 Variação do tamanho do corpo dos coleópteros do solo nos sistemas de uso do solo**

Foi possível realizar a modelagem (LMM) apenas para a primeira coleta, pois na segunda coleta não foi encontrada, nesta análise, nenhuma variação significativa nos SUS, para o *trait* avaliado. Nas paisagens do Oeste de Santa Catarina o melhor modelo linear misto selecionou apenas “SUS” como efeito fixo, sem adição de VegCover e PS-lit, como explicação

para o aumento do tamanho do corpo dos coleópteros, mostrando o menor valor AICc e maior peso (Tabela 24).

Tabela 24 - Classificação do melhor modelo de efeitos mistos para explicar o *trait* comprimento do corpo de Coleoptera, baseada nos valores do Critério de informações de Akaike Corrigido (AICc) e respectivos pesos do modelo, com efeitos fixos de sistema de uso do sol (SUS), VegCover, PS-lit e efeito aleatório das janelas das paisagens

Modelo	LogLik	AICc	Peso
1 CompCorpo~SUS + (1   Paisagem)	-158,9	335,9	0,610
2 CompCorpo~SUS+VegCover + (1   Paisagem)	-158,0	336,8	0,390
3 CompCorpo~SUS+PS-lit + (1   Paisagem)	-164,5	349,7	<0,001
4 CompCorpo~SUS+VegCover+PS-lit + (1   Paisagem) <sup>1</sup>	-163,7	350,8	<0,001
5 CompCorpo ~ 1 + (1   Paisagem) <sup>2</sup>	-177,0	360,4	<0,001

<sup>1</sup> Modelo mais complexo. <sup>2</sup> Modelo nulo. Valores do log-*Likelihood* (LogLik); peso seco da liteira (PS-lit).

Em relação ao efeito aleatório “Paisagem”, os resultados para a variação do *trait* de coleópteros, do melhor modelo, foram: desvio padrão (SD) do intercepto (0,874) e o SD do resíduo (2,159). O SD é uma medida do quanto a variabilidade da variável dependente “*trait* comprimento do corpo” é devida ao efeito aleatório analisado (os interceptos das paisagens). Pode-se dizer que o desvio padrão é associado às diferenças de intercepto entre paisagens do modelo. Em relação ao valor SD do resíduo, este indica o quanto da variabilidade não é prevista pela variável aleatória “Paisagem” nem pela variável fixa “SUS”. Os resultados dos efeitos fixos estão expostos na Tabela 25.

Ao observar a Tabela 25, é possível perceber que o intercepto corresponde à média de abundância do uso FN, o que significa que o modelo tomou o nível FN como nível de referência. É por isso que esse nível não aparece na Tabela 25, de coeficientes de efeito fixo, pois ele é na verdade o intercepto do modelo. O melhor modelo demonstrou redução significativa do tamanho do corpo de coleópteros do solo em PA, PD e PE (coeficientes angulares de -3,45, -2,86 e -3,39) quando comparado ao intercepto (FN).

No modelo 4 (mais complexo) que demonstra o efeito do SUS em adição ao VegCover e PSlit, sobre o tamanho do corpo dos coleópteros, as variáveis adicionadas não demonstraram variação significativa no *trait* morfológico avaliado, apresentando um coeficiente angular estimado bastante reduzido (Tabela 25).

Tabela 25 - Resumo dos resultados dos efeitos fixos dos Modelos Mistos Lineares (LMM) para o Modelo 1 [sistemas de uso do solo (SUS)] e o Modelo 4 [SUS + cobertura vegetal (VegCover) + peso seco liteira (PS-lit)].

<b>Efeito fixo</b>	<b>Coefficiente estimado</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>t-value</b>	<b>p-value</b>
<i>Modelo 1 (melhor modelo)</i>				
Intercepto	7,5001	0,7173	10,455	0,0000*
Capoeira	-3,0320	1,6153	-1,877	0,0649
Integração lavoura-pecuária	-0,0118	1,1952	-0,009	0,9921
Pastagem	-3,4558	0,7921	-4,362	0,0000*
Plantio direto	-2,8565	0,6341	-4,505	0,0000*
Plantio de Eucalipto	-3,3934	1,1952	-2,839	0,0060*
<i>Modelo 4 (mais complexo)</i>				
Intercepto	6,8515	0,8913	7,687	0,0000*
Capoeira	-2,6931	1,6597	-1,623	0,1095
Integração lavoura-pecuária	0,2969	1,2290	0,242	0,8098
Pastagem	-2,8404	0,9521	-2,983	0,0040*
Plantio direto	-2,5705	0,6682	-3,847	0,0003*
Plantio de Eucalipto	-3,3525	1,2077	-2,776	0,0072*
VegCover	-0,1984	0,8760	-0,226	0,8215
PS-lit	0,0007	0,0004	1,507	0,1367

Significativo  $p < 0,01$  (\*).

Nesse sentido pode-se afirmar que o tamanho do corpo dos coleópteros do solo variou ao longo da paisagem, dependendo dos fragmentos de SUS presentes, além disso, os sistemas ILP e CP são mais similares ao FN, sendo os usos onde ocorreram os indivíduos de maior tamanho corporal. Portanto, a mudança de SUS na paisagem pode servir como filtro para o fluxo de indivíduos maiores e influenciar em algumas relações funcionais desses organismos com o ambiente, envolvendo sua capacidade de dispersão ou movimentação ao nível do solo e forrageamento. Confirmando a hipótese (ii) levantada.

Segundo Fountain-Jones et al. (2015), o tamanho do corpo, medido como comprimento ou massa é funcionalmente importante e comumente medido para a maioria dos grupos de coleópteros. O tamanho pode estar relacionado ao tempo de geração, capacidade reprodutiva, uso de microhabitat e capacidade de dispersão. Os autores também relatam que o tamanho do corpo, tem sido estudado como *trait* de resposta para entender as respostas da comunidade a distúrbios ambientais.

Segundo Slade et al. (2007), coleópteros maiores (Scarabaeidae) removem grandes quantidades de esterco, enterram mais e maiores sementes, a uma profundidade maior do que as espécies menores. Sendo assim, a perda de espécies maiores pode ter um efeito negativo na função do ecossistema a exemplo da dispersão reduzida de sementes (FOUNTAIN-JONES; BAKER; JORDAN, 2015). Mas não apenas isso, a diminuição do tamanho do corpo pode trazer

consequências na capacidade de transporte de material orgânico e solo, que também estão relacionadas com a capacidade de dispersão, uso do habitat e forrageamento.

### 9.3.3 Diversidade Funcional dos coleópteros do solo

De acordo com os resultados de FD, calculado a partir dos *traits* morfológicos e de formas de vida avaliados, não houve diferença significativa, pelo teste Kruskal-Wallis ( $p \leq 0,05$ ), entre os usos na primeira e na segunda coleta, também não houve diferença em relação a diversidade de Simpson das morfoespécies (Figura 32).

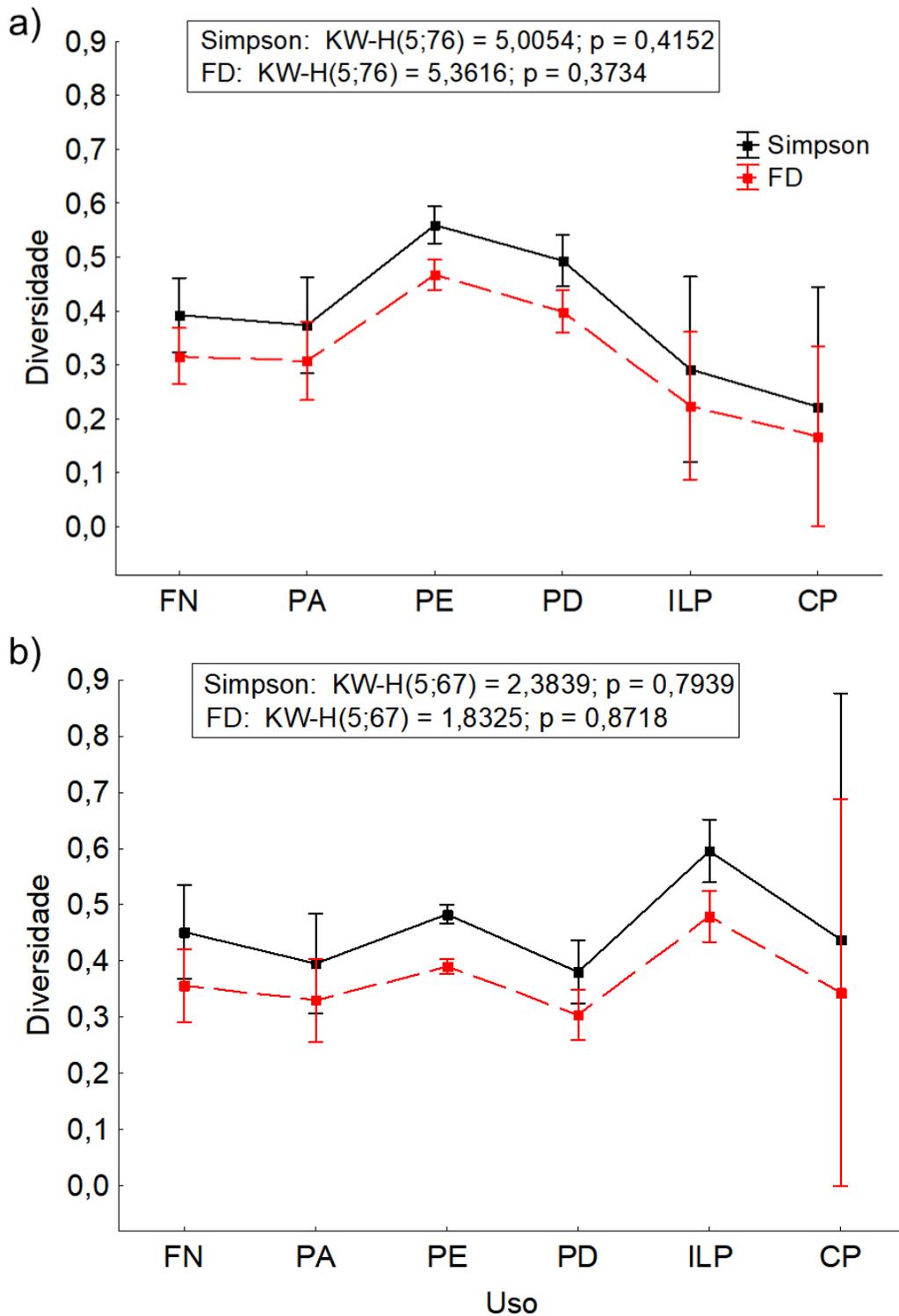
Na figura 32, foram apresentados os resultados da diversidade de Simpson das morfoespécies de coleópteros descritas no Capítulo 4 (pág. 154), para efeito de comparação entre a diversidade funcional e a diversidade de espécies. Apesar de não ter ocorrido diferenças significativas, percebe-se que tanto a diversidade de Simpson quanto o FD mantiveram-se similares em relação a sua variação ao longo dos SUS, sendo que na primeira coleta os valores mais elevados foram observados em RE e na segunda coleta em ILP.

Portanto, mesmo sendo observada variação na composição dos *traits* ao longo dos SUS e redução significativa no tamanho corporal dos coleópteros – em PA, PD e PE, comparados a FN, quando modelado para a primeira época de amostragem – não ocorreu alteração significativa na diversidade funcional desses invertebrados entre os usos presentes nas paisagens. Nesse sentido, a hipótese (iii) levantada, não foi confirmada.

Vandewalle et al. (2010), ao avaliarem quatro estudos de caso, com diferentes organismos (invertebrados aquáticos, fauna do solo, insetos terrestres e pássaros), verificaram que em sua maioria, a diversidade de espécies e o FD foram correlacionados significativamente. O índice FD é uma generalização matemática do índice Simpson, onde o índice Simpson é o limite superior para seus valores. Conseqüentemente, não é esperado que esses dois valores serão completamente independentes.

No entanto, segundo estes autores, o grau em que esses índices são relacionados entre si, depende principalmente das propriedades do conjunto de dados e da comunidade estudada. Nos estudos de caso avaliados por eles, com exceção da fauna do solo, ocorreram baixos valores de correlação entre a diversidade de Simpson e o FD, apesar de significativos. Esse resultado juntamente com respostas diferentes da diversidade de espécies e FD aos gradientes de uso da terra, sugerem que essas duas dimensões podem indicar componentes amplamente independentes da diversidade (VANDEWALLE et al., 2010).

Figura 32 – Média  $\pm$  Erro padrão da diversidade de espécies de Simpson e diversidade funcional (FD) dos coleópteros amostrados na primeira (a) e segunda (b) coletas em floresta nativa (FN), pastagem (PA), plantio de eucalipto (PE), plantio direto (PD), integração lavoura-pecuária (ILP) e capoeira (CP), das paisagens do Oeste de Santa Catarina.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

## 9.4 CONCLUSÃO

Ocorreu distinção na composição de *traits* de coleópteros, nos sistemas de uso do solo (SUS) das paisagens do Oeste de Santa Catarina. As formas de vida hemiedáficas e epígeas apresentaram associação com plantio de eucalipto e capoeira, respectivamente. Os *traits* morfológicos foram correlacionados positivamente com floresta nativa e integração lavoura-pecuária.

Houve variação do tamanho do corpo dos coleópteros nos fragmentos presentes nas paisagens, sendo que os indivíduos apresentaram redução do seu tamanho em pastagem, plantio direto e plantio de eucalipto em relação a floresta nativa. Diferente de integração lavoura-pecuária e capoeira, que são similares a floresta nativa.

Apesar das variações na composição dos *traits* entre os SUS, não foi verificada diferenças na diversidade funcional dos coleópteros. Indicando que a funcionalidade dos coleópteros pode se manter similar ao longo da paisagem, assim como a diversidade de morfoespécies, mesmo com as mudanças dos usos da terra.

## REFERÊNCIAS

ARENAS-CLAVIJO, A.; ARMBRECHT, I. Soil ants (Hymenoptera: Formicidae) and ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in a coffee agroforestry landscape during a severe-drought period. **Agroforestry Systems**, v. 93, n. 5, p. 1781-1792, 2019.

BOLKER, B.; R DEVELOPMENT CORE TEAM; GINÉ-VÁZQUEZ, I. **bbmle**: Tools for General Maximum Likelihood Estimation. R package version 1.0.23.1. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=bbmle>, 2020.

FRANÇA, F. et al. Do space-for-time assessments underestimate the impacts of logging on tropical biodiversity? An Amazonian case study using dung beetles. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 4, p. 1098–1105, 2016.

FOUNTAIN-JONES, N. M.; BAKER, S. C.; JORDAN, G. J. Moving beyond the guild concept: Developing a practical functional trait framework for terrestrial beetles. **Ecological Entomology**, v. 40, n. 1, p. 1–13, 2015.

GARNIER, E. et al. Plant functional markers capture ecosystem properties during secondary succession. **Ecology**, v. 85, n. 9, p. 2630-2637, 2004.

HERVÉ, M. **RVAideMemoire**: Testing and Plotting Procedures for Biostatistics. R package version 0.9-75. <https://CRAN.R-project.org/package=RVAideMemoire>. 2020.

LASCALEIA, M. C. et al. Dung beetle richness decreases with increasing landscape structural heterogeneity in an African savanna-agricultural mosaic. **Insect Conservation and Diversity**, v. 11, n. 4, p. 396–406, 2018.

LAPARIE, M. et al. Variation of morphometric traits in populations of an invasive carabid predator (*Merizodus soledadinus*) within a sub-Antarctic island. **Biological Invasions**, v. 12, n. 10, p. 3405–3417, 2010.

LEPŠ, J. et al. Quantifying and interpreting functional diversity of natural communities: practical considerations matter. **Preslia**, v. 78, n.4, p. 481-501, 2006.

MICKAËL, H. et al. Orchard management influences both functional and taxonomic ground beetle (Coleoptera: Carabidae) diversity in South-East France. **Applied Soil Ecology**, v. 88, p. 26–31, 2015.

NICHOLS, E. et al. Trait-dependent response of dung beetle populations to tropical forest conversion at local and regional scales. **Ecology**, v. 94, n. 1, p. 180-189, 2013.

NIERO, M. M.; HERNÁNDEZ, M. I. M. Influência da paisagem nas assembleias de Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) em um ambiente agrícola no sul de Santa Catarina. **Biotemas**, v. 30, n. 3, p. 37–48, 2017.

NG, K. et al. Disentangling the effects of farmland use, habitat edges, and vegetation structure on ground beetle morphological traits. **Oecologia**, v. 188, n. 3, p. 645-657, 2018.

PARISI, V. La qualità biologica del suolo. Un metodo basato sui microartropodi. **Acta Naturalia de L'Ateno Parmense**, v. 37, p. 97–106, 2001.

PARISI, V. et al. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: A new approach in Italy. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 105, p. 323–333, 2005.

PEY, Benjamin et al. Current use of and future needs for soil invertebrate functional traits in community ecology. **Basic and Applied Ecology**, v. 15, n. 3, p. 194-206, 2014.

PINHEIRO J, BATES D, DEBROY S, SARKAR D. **nlme**: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-145, R Core Team. Disponível em: <URL: <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>>. 2020.

POMPEO, P. N. et al. Morphological diversity of coleoptera (Arthropoda: Insecta) in agriculture and forest systems. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 41, p. e0160433, 2017.

RAO, C. R. Diversity and dissimilarity coefficients: a unified approach. **Theoretical population biology**, v. 21, n. 1, p. 24-43, 1982.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 2020.

SALOMÃO, R. P. et al. Landscape structure and composition define the body condition of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) in a fragmented tropical rainforest. **Ecological Indicators**, v. 88, p. 144–151, 2018.

SILVA, P. M. et al. Habitat structure and neighbor linear features influence more carabid functional diversity in olive groves than the farming system. **Ecological Indicators**, v. 79, p. 128-138, 2017.

SLADE, E. M. et al. Experimental evidence for the effects of dung beetle functional group richness and composition on ecosystem function in a tropical forest. **Journal of Animal Ecology**, p. 1094-1104, 2007.

STATSOFT, Inc. **STATISTICA (data analysis software system), version 10**. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com). 2011.

TER BRAAK C.J.F.; ŠMILAUER P. **Canoco reference manual and user's guide**: software for ordination, version 5.0. Ithaca: Microcomputer Power, 2012. 496 p.

VANDEWALLE, M. et al. A. Functional traits as indicators of biodiversity response to land use changes across ecosystems and organisms. **Biodiversity and Conservation**, v. 19, p. 2921–2947, 2010.

ZEISS, C. Micro Imaging GmbH. **AxioVision 4.9**. Göttingen, Deutschland, 2017.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### *Escala Regional*

A distribuição biogeográfica das morfoespécies de coleópteros do solo variou ao longo das quatro regiões do Estado de Santa Catarina (Oeste, Planalto, Sul e Leste). As regiões Leste e Sul são mais parecidas entre si, assim como Planalto e Oeste. Houve dependência espacial na dissimilaridade da comunidade de Coleoptera.

Os atributos do solo apresentam relação significativa com a distribuição de morfoespécies de coleópteros, são eles pH, pH SMP, Ca/Mg, Mg, COT, Areia, Umidade, Macro, Ds, CMic e RMic; mas essa contribuição é dependente das variáveis de manejo, classe de solo e espaciais. As comunidades eco-morfológicas dos coleópteros (com diferentes adaptações a vida no solo) apresentaram dissimilaridades entre os sistemas de uso do solo (SUS), Floresta Nativa (FN), Reflorestamento de Eucalipto (RE), Pastagem (PA), Integração lavoura-pecuária (ILP) e Plantio direto (PD).

Houve maior participação dos coleópteros epígeos nos sistemas florestais e sua redução ocorreu de acordo com o aumento da intensificação de uso do solo (FN < RE < PA < ILP < PD), ou seja, diminuiu nos usos com maior interferência antrópica pastagem, integração lavoura-pecuária e plantio direto. O sistema PA apresentou a maior diversidade funcional em relação as formas de vida “*Life form traits*” dos coleópteros (epígeos, hemiedáficos e edáficos).

### *Escala da paisagem*

Foram verificadas dissimilaridades da comunidade da fauna do solo entre os SUS presentes nas paisagens estudadas. Na primeira coleta (clima quente e seco) as diferenças foram observadas principalmente entre floresta nativa, pastagem e plantio direto. Na segunda coleta (clima frio e úmido) a dissimilaridade ocorreu entre plantio direto e pastagem.

Quando avaliadas as comunidades de morfoespécies de Coleoptera do solo, estas apresentaram dissimilaridades entre os usos do solo, sendo que na primeira coleta, a floresta nativa demonstrou diferenças de pastagem, integração lavoura-pecuária e plantio direto. Assim como, pastagem foi diferente de plantio direto tanto na primeira época de amostragem quanto na segunda coleta com condições de menor temperatura e maior umidade.

Foram verificadas variáveis ambientais e espaciais que apresentaram relação com as variáveis resposta e explicaram a variação da comunidade de coleópteros do solo. As variáveis ambientais, Macroporos, Nitrogênio do solo e Espaço de Aeração, foram as que mais

contribuíram na explicação da composição de coleópteros do solo nas paisagens do Oeste de Santa Catarina, na primeira coleta. Na segunda coleta, foram as variáveis Perímetro dos fragmentos e Peso Seco da Liteira que apresentaram relação com a fauna edáfica.

A abundância de coleópteros variou dependendo do uso do solo e da cobertura vegetal, demonstrando aumento nos sistemas florestais e com maior cobertura do solo. Além disso, houve variação do *trait* tamanho do corpo dos coleópteros nos fragmentos presentes nas paisagens, sendo que os indivíduos apresentaram redução do seu tamanho em pastagem, plantio direto e plantio de eucalipto em comparação com a floresta nativa. Apesar das variações na composição dos *traits* entre os SUS, não foi verificada diferenças na diversidade funcional dos coleópteros, indicando que a funcionalidade dos coleópteros pode se manter ao longo da paisagem, assim como a diversidade de morfoespécies.

#### *Coleópteros indicadores dos usos do solo em Santa Catarina*

Em escala regional (Oeste, Planalto, Sul e Leste), as morfoespécies de coleópteros indicadoras dos usos do solo pertencem em grande maioria a família Staphylinidae que foi importante em todas as regiões e SUS. Outras que também tiveram destaque foram morfoespécies da família Carabidae para integração lavoura-pecuária e Scarabaeidae indicadora de pastagem. A morfoespécie Col. 77 da família Staphylinidae foi considerada indicadora de floresta nativa nas avaliações em escala Regional e da Paisagem, mesmo com a diferença temporal entre as coletas, a primeira em 2011 e a segunda em 2018. Sendo assim, a família Staphylinidae demonstra potencial para ser utilizada em estudos de monitoramento em florestas nativas da região Oeste, também em outras regiões de Santa Catarina.

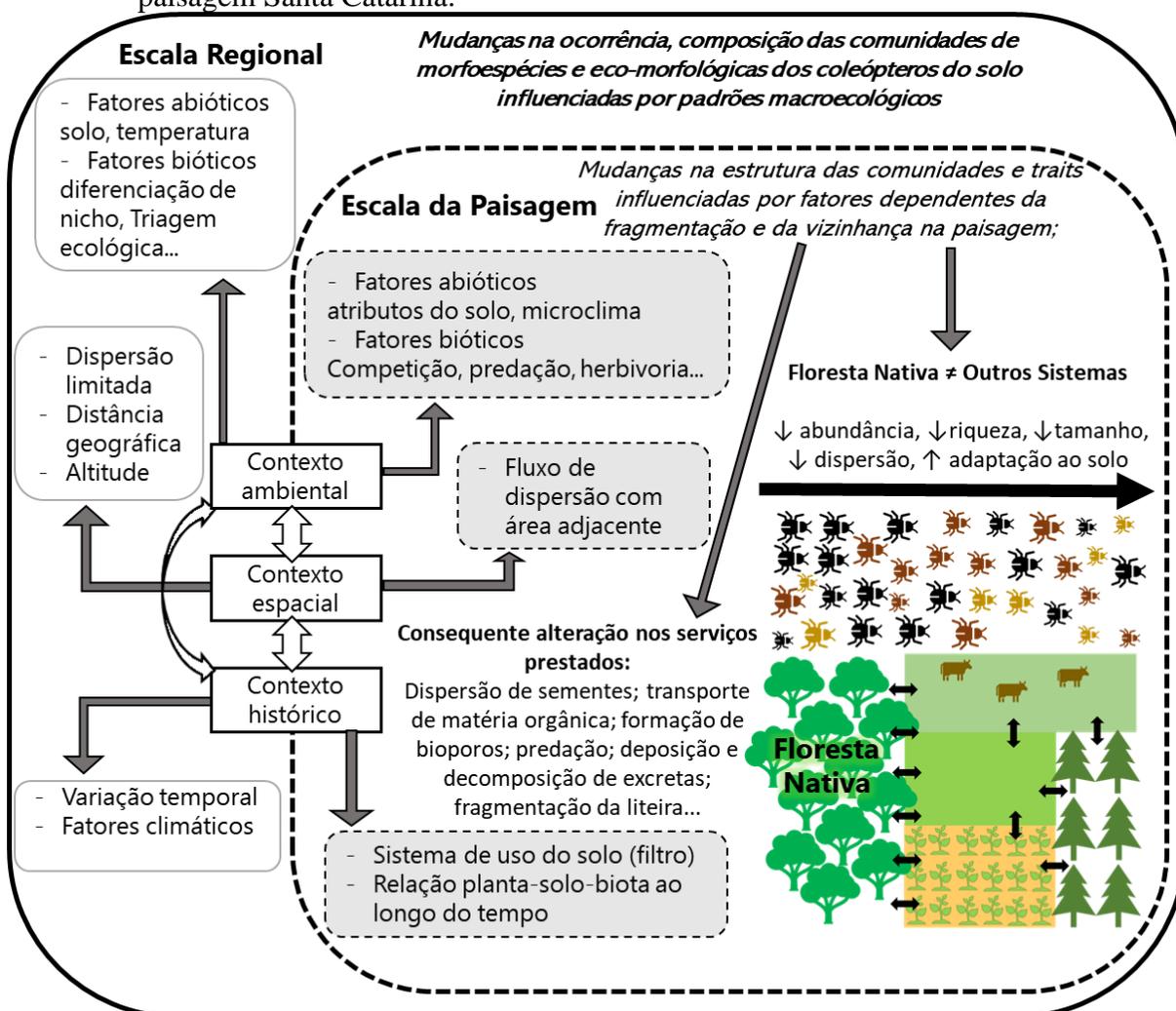
#### *Ponderações gerais sobre a Tese*

Com base no exposto na presente Tese, foi elaborado o modelo conceitual para as alterações da comunidade eco-morfológica e de morfoespécies de coleópteros do solo em escala regional e da paisagem em Santa Catarina (Figura 33). Nesse modelo ficou demonstrada a influência do “contexto ambiental”, do “contexto espacial” e “contexto histórico” tanto em escala Regional como em Escala da Paisagem. As diferenças entre regiões são decorrentes de padrões macroecológicos, onde fatores como o clima, a distância espacial, a altitude e as classes de solo, contribuem para as mudanças na comunidade de coleópteros ao longo do tempo.

Em escala da paisagem, as alterações da estrutura da comunidade são dependentes principalmente de fatores relacionados com a fragmentação, uso e manejo do solo. A floresta

nativa demonstra ser importante para a manutenção da maior abundância, riqueza, dispersão dos coleópteros e indivíduos de maior tamanho corporal, no mosaico heterogêneo de usos da terra que compõem as paisagens do Oeste Catarinense. Ademais, as alterações antrópicas e as relações solo-planta-biota que ocorrem nas paisagens, contribuem para as mudanças observadas na região onde estão inseridas, ao longo do tempo.

Figura 33 - Modelo conceitual para as alterações observadas nas comunidades eco-morfológicas e de morfoespécies de coleópteros do solo em escala regional e da paisagem Santa Catarina.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Por fim, avaliar os coleópteros do solo em famílias, morfoespécies, morfotipos do índice ecomorfológico (EMI) e *traits* morfológicos, possibilitou o estudo desses organismos em escala ampla, no Estado de Santa Catarina. A utilização dessas metodologias contribuiu para o conhecimento da biodiversidade, distribuição e relação dos coleópteros do solo com as diferentes regiões e ecossistemas estudados. Somado a isso, possibilitou superar as dificuldades

da abordagem de identificação taxonômica a nível de espécie, que depende do trabalho de taxonomistas especialistas. Demonstrou ser uma abordagem com possibilidades de utilização em estudos de biodiversidade e de monitoramento das alterações ambientais em áreas agrícolas e florestais, principalmente quando se tem um volume de amostras muito grande.

## APÊNDICES

APÊNDICE A1 - Coordenadas geográficas dos municípios utilizados no estudo, altitude e Classes de solo predominantes dos sistemas de uso do solo estudados.

Município	Coordenada Geográfica		Altitude (m)	Classe de solo
	Latitude	Longitude		
São Miguel do Oeste	26°43'31" S	53°31'05" W	645	Latossolo Vermelho
Xanxerê	26°52'37" S	52°24'15" W	800	Latossolo Vermelho
Chapecó	27°05'47" S	52°37'06" W	674	Latossolo Vermelho
Campo Belo do Sul	27°53'57" S	50°45'39" W	1017	Nitossolo Bruno
Lages	27°48'58" S	50°19'34" W	884	Nitossolo Bruno
Otacílio Costa	27°28'59" S	50°07'19" W	884	Cambissolo Húmico
Joinville	26°18'16" S	48°50'44" W	3	Gleissolo Háptico
Timbó	26°49'24" S	49°16'18" W	68	Cambissolo Háptico
Blumenau	26°55'10" S	49°03'58" W	21	Argissolo Vermelho Amarelo
Orleans	28°21'32" S	49°17'29" W	132	Argissolo Vermelho Amarelo
Lauro Müller	28°23'34" S	49°23'48" W	220	Argissolo Vermelho Amarelo
Siderópolis	28°35'52" S	49°25'28" W	147	Argissolo Vermelho Amarelo

APÊNDICE A2 - Características e condições de uso e manejo dos sistemas de floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária e plantio direto (PD), em quatro regiões da Santa Catarina (Continua).

Região e Município	SUS	Tamanho (ha)	Idade (anos)	Descrição das áreas
OESTE São Miguel do Oeste	FN	10,8	>50	Mata atlântica, transição entre Floresta Ombrófila Mista (FOM) e Floresta Estacional Semidecidual (FESD). Floresta secundária.
	RE	2,6	7	<i>Eucalyptus</i> sp., pastagem nativa anteriormente
	PA	1,9	50	Pastagem introduzida misturada com gramíneas nativas.
	ILP	1,8	18	Plantio direto com soja ( <i>Glycine</i> sp.) e milho ( <i>Zea mays</i> L.) no verão; aveia ( <i>Avena</i> sp.) e azevém ( <i>Lolium</i> sp.) anual no inverno.
	PD	3,2	4	No verão soja e milho e inverno com aveia e azevém.
OESTE Xanxerê	FN	1,0	-	Transição entre FOM e FESD. Floresta secundária.
	RE	6,0	4	<i>Eucalyptus</i> sp., pastagem nativa anteriormente.
	PA	4,2	12	Pastagem introduzida ( <i>Axonopus affinis</i> ). Entrada de dejetos suíno.
	ILP	1,9	8	Pastagem introduzida ( <i>Axonopus affinis</i> ). Entrada de estrume.
	PD	6,2	18	No verão com soja e milho; inverno com aveia e trigo ( <i>Triticum</i> sp.)
OESTE Chapecó	FN	7,6	>50	Transição entre FOM e FESD. Floresta secundária.
	RE	3,5	15	<i>Eucalyptus</i> sp., entrada de dejetos.
	PA	5,4	50	Campo nativo.
	ILP	5,1	10	No verão com soja e milho; inverno aveia e azevém; lotação de 3 bovinos ha <sup>-1</sup> .
	PD	2,2	10	No verão com soja e milho e no inverno trigo.
PLANALTO SUL Campo Belo do Sul	FN	5,0	-	FOM, secundária com vegetação bem estabelecida.
	RE	1,2	20	<i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden; anteriormente campo nativo; entrada de gado.
	PA	30,0	12	Campo nativo; com queima controlada a cada dois anos.
	ILP	25,0	25	Semeadura direta com soja e milho no verão; trigo, aveia ou pastagem no inverno; 2 bovinos ha <sup>-1</sup> .
	PD	55,0	11	No verão soja e milho; trigo e pousio no inverno.

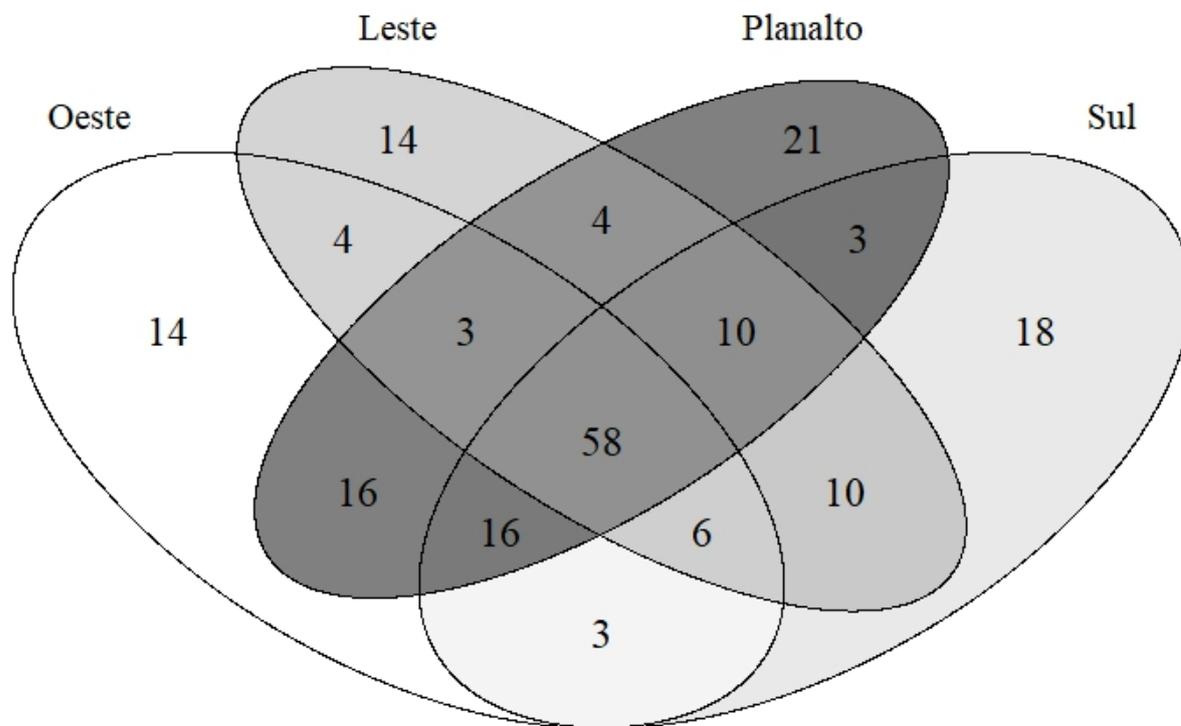
APÊNDICE A2 - Características e condições de uso e manejo dos sistemas de floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária e plantio direto (PD), em quatro regiões da Santa Catarina (Continuação).

Região e Município	SUS	Tamanho (ha)	Idade (anos)	Descrição das áreas
PLANALTO SUL Lages	FN	100,0	-	FOM, secundária com vegetação bem estabelecida.
	RE	29,0	7	<i>Eucalyptus benthamii</i> Maiden & Cambage; anteriormente campo nativo; entrada de gado.
	PA	100,0	15	Campo nativo; densidade de 0,4 a 1,5 bovinos ha <sup>-1</sup> .
	ILP	10,0	10	Semeadura direta com soja e milho no verão; azevém, aveia e pastagem no inverno.
	PD	7,0	7	No verão soja e milho; no inverno azevém e aveia.
PLANALTO SUL Otacílio Costa	FN	3,0	-	FOM, secundária com vegetação bem estabelecida.
	RE	2,4	21	<i>Eucalyptus</i> sp.; anteriormente plantio de <i>Pinus</i> sp.
	PA	10,0	-	Campo nativo; com queima controlada anualmente.
	ILP	22,0	11	No verão com soja e milho; inverno com azevém, aveia ou pastagem.
	PD	80,0	10	No verão soja, milho e pousio no inverno.
LESTE Joinville	FN	100,0	>50	Mata Atlântica, formação Floresta Ombrófila Densa (FOD), vegetação bem estabelecida.
	RE	1,0	3	<i>Eucalyptus</i> sp. com entrada de gado.
	PA	2,0	>10	Campo nativo, com entrada de 30 cabeças de gado.
	ILP	1,0	50	No verão milho e inverno escolhia-se alguma espécie forrageira, com entrada de 30 cabeças de gado.
	PD	7,5	8	No verão milho e no inverno azevém.
LESTE Timbó	FN	10,0	>50	FOD, vegetação bem estabelecida.
	RE	1,5	7	<i>Eucalyptus</i> sp. com entrada de gado, anteriormente cultivo de mandioca.
	PA	3,0	100	Campo nativo.
	ILP	1,0	15	Plantio convencional, com milho no verão, aveia e azevém, no inverno com entrada de 20 cabeças de gado.
	PD	1,0	5	Semeadura direta, com milho no verão e pousio no inverno.

APÊNDICE A2 - Características e condições de uso e manejo dos sistemas de floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária e plantio direto (PD), em quatro regiões da Santa Catarina (Conclusão).

Região e Município	SUS	Tamanho (ha)	Idade (anos)	Descrição das áreas
LESTE Blumenau	FN	10,0	>50	FOD, vegetação bem estabelecida.
	RE	2,0	7	<i>Eucalyptus</i> sp.
	PA	2,0	>50	Campo nativo.
	ILP	1,0	20	Plantio convencional, rotação de culturas: milho no verão e azevém no inverno, com entrada de 25 cabeças de gado.
	PD	1,0	20	Semeadura direta, milho.
SUL Orleans	FN	4,0	2	FOD.
	RE	1,5	12	<i>Eucalyptus</i> sp., anteriormente mata nativa.
	PA	4,0	80	Campo nativo, entrada de 3,75 bovinos ha <sup>-1</sup> .
	ILP	4,0	2	No verão fumo; inverno feijão; com entrada de 10 bovinos ha <sup>-1</sup> .
	PD	2,0	3	No verão milho; inverno com feijão.
SUL Lauro Müller	FN	4,0	-	FOD, com entrada de 1,25 bovinos ha <sup>-1</sup> .
	RE	2,0	20	<i>Eucalyptus</i> sp., anteriormente pastagem.
	PA	3,0	>20	Campo nativo. Entrada de 2,67 bovinos ha <sup>-1</sup> .
	ILP	2,0	3	No verão milho; inverno aveia e azevém. Entrada de 10 bovinos ha <sup>-1</sup> .
	PD	1,0	3	Verão: milho; Inverno: aveia. Entrada de 10 bovinos ha <sup>-1</sup> .
SUL Siderópolis	FN	11,0	-	FOD.
	RE	9,0	2	<i>Eucalyptus</i> sp., anteriormente plantação de milho. Entrada de 0,4 bovinos ha <sup>-1</sup> .
	PA	6,0	30	Pastagem mista: jesuita ( <i>Axonopus</i> sp.) e manteiga. Entrada de 3,3 bovinos ha <sup>-1</sup> .
	ILP	4,0	2	No verão milho; inverno aveia e azevém. Entrada de cabeças de gado.
	PD	11,0	3	No verão milho e batata; inverno aveia

APÊNDICE A3 - Diagrama de Venn da riqueza de morfoespécies de Coleoptera independentemente do sistema de uso do solo e época de coleta, em quatro regiões de Santa Catarina.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

APÊNDICE A4 - ANOVA da riqueza e abundância de morfoespécies de Coleoptera amostrados no inverno e verão para os fatores região e sistema de uso do solo (SUS).

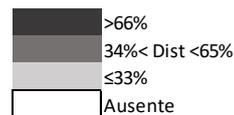
<b>Parâmetros</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Inverno</b>					
Riqueza					
Região	3	0,16886	0,05629	2,861	0,048766
SUS	4	0,27960	0,06990	3,553	0,014278
Interação	12	0,25983	0,02165	1,101	0,386105
Resíduo	40	0,78693	0,01967		
Total	59				
Abundância					
Região	3	0,4740	0,1580	2,033	0,124627
SUS	4	0,6119	0,1530	1,968	0,117932
Interação	12	1,0094	0,0841	1,082	0,399884
Resíduo	40	3,1083	0,0777		
Total	59				
<b>Verão</b>					
Riqueza					
Região	3	0,32966	0,10989	7,005	0,000677
SUS	4	0,47228	0,11807	7,527	0,000128
Interação	12	0,23856	0,01988	1,267	0,275027
Resíduo	40	0,62748	0,01569		
Total	59				
Abundância					
Região	3	0,9158	0,3053	7,349	0,000491
SUS	4	1,7543	0,4386	10,558	0,000006
Interação	12	0,5393	0,0449	1,082	0,400411
Resíduo	40	1,6616	0,0415		
Total	59				

APÊNDICE A5 - PERMANOVA da comunidade de morfoespécies de Coleoptera com base no coeficiente de Bray-Curtis, para Regiões como fatores fixos e sistemas de uso do solo (SUS) *nested* em Regiões, no inverno e verão.

<b>Parâmetro</b>	<b>df</b>	<b>Pseudo-F</b>	<b>p value</b>	<b>Permutações</b>	<b>p (Monte-Carlo)</b>
Inverno					
Regiões	3	1,8621	0,001	999	0,001
SUS (Regiões)	16	1,8244	0,001	997	0,001
Resíduo	40				
Total	59				
Verão					
Regiões	3	1,7471	0,002	999	0,001
SUS (Regiões)	16	1,611	0,001	993	0,001
Resíduo	40				
Total	59				

APÊNDICE A6 - Contribuição das morfoespécies de Coleoptera para a dissimilaridade das regiões por análise SIMPER e classificação de ocorrência em generalizada ( $\geq 66\%$  das áreas), frequente (de 34 a 65% das áreas), ocasional ( $\leq 33\%$ ), ausente (sem ocorrência). (Continua)

Família	Morfoespécie	L O P S				Regiões	Contribuição SIMPER	
							Inverno	Verão
Ptiliidae	Col. 29						L-O(5,46); L-P(6,36); L-S(6,02); O-S(4,63); P-S(5,49)	L-S(3,57); O-S(3,16)
Staphylinidae	Col. 79						L-O(3,59); L-P(3,84); L-S(4,75); O-S(3,76); P-S(4,53)	L-O(3,33); L-P(3,65); O-P(3,05); L-S(4,7); O-S(3,5); P-S(3,72)
Nitidulidae	Col. 68						L-O(4,62); O-P(5,32); O-S(5,34)	L-P(3,17); L-S(3,09); P-S(3,16)
Staphylinidae	Col. 36						L-O(3,4); L-P(3,29); L-S(4,04); O-S(3,04)	L-O(3,53); L-P(3,04); L-S(3,97)
Staphylinidae	Col. 8							
Scarabaeidae	Col. 62						L-O(3,56); O-P(4,31); O-S(4,73)	L-O(3,09)
Staphylinidae	Col. 51							
Scydmaenidae	Col. 39							
Staphylinidae	Col. 1						L-O(3,12); L-P(3,91); O-P(4,19); L-S(3,93); O-S(3,74); P-S(5,06)	L-S(3,08)
Staphylinidae	Col. 2						L-S(3,12)	L-O(3,32); O-S(3,06)
Staphylinidae	Col. 22						L-S(3,09)	L-S(3,1)
Chrysomelidae	Col. 70							L-S(3,55); O-S(3,07)
Staphylinidae	Col. 27							
Carabidae	Col. 72							
Staphylinidae	Col. 41							
Staphylinidae	Col. 47							
Phalacridae	Col. 10							
Staphylinidae	Col. 18						L-S(3,15)	
Carabidae	Col. 23							
Staphylinidae	Col. 91							
Staphylinidae	Col. 87							
Carabidae	Col. 15							
Staphylinidae	Col. 52							
Staphylinidae	Col. 26							
Carabidae	Col. 16							
Elateridae	Col. 7							
Staphylinidae	Col. 75							
Tenebrionidae	Col. 4							
Staphylinidae	Col. 17							
Staphylinidae	Col. 34							
Carabidae	Col. 105							
Staphylinidae	Col. 33							
Carabidae	Col. 58							
Scarabaeidae	Col. 93							
Salpingidae	Col. 60							
Scarabaeidae	Col. 5							
Staphylinidae	Col. 21							
Staphylinidae	Col. 31							
Carabidae	Col. 64							
Lathridiidae	Col. 54							
Tenebrionidae	Col. 76							
Anthicidae	Col. 82							
Chrysomelidae	Col. 85							
Staphylinidae	Col. 146							
Curculionidae	Col. 149							
Corylophidae	Col. 13							
Carabidae	Col. 25							
Carabidae	Col. 37							
Silvanidae	Col. 88							
Scarabaeidae	Col. 102							
Carabidae	Col. 6							
Staphylinidae	Col. 24							
Scarabaeidae	Col. 32							
Leiodidae	Col. 44							
Scarabaeidae	Col. 71							
Staphylinidae	Col. 77							L-O(3,35); O-S(3,32)



APÊNDICE A6 - Contribuição das morfoespécies de Coleoptera para a dissimilaridade das regiões por análise SIMPER e classificação de ocorrência em generalizada ( $\geq 66\%$  das áreas), frequente (de 34 a 65% das áreas), ocasional ( $\leq 33\%$ ), ausente (sem ocorrência). (Continuação)

Família	Morfoespécie	L	O	P	S	Regiões	Família	Morfoespécie	L	O	P	S	Regiões
Chrysomelidae	Col. 89						Scarabaeidae	Col. 101					
Staphylinidae	Col. 108						Staphylinidae	Col. 139					
Staphylinidae	Col. 177						Staphylinidae	Col. 171					
Staphylinidae	Col. 12						Scarabaeidae	Col. 172					
Scarabaeidae	Col. 20						Staphylinidae	Col. 198					
Staphylinidae	Col. 42						Chrysomelidae	Col. 9					
Scarabaeidae	Col. 56						Dryopidae	Col. 28					
Histeridae	Col. 69						Dryopidae	Col. 43					
Carabidae	Col. 86						Anthicidae	Col. 61					
Staphylinidae	Col. 111						Carabidae	Col. 67					
Chrysomelidae	Col. 115						Brentidae	Col. 80					
Staphylinidae	Col. 123						Throscidae	Col. 90					
Elateridae	Col. 129						Scarabaeidae	Col. 98					
Staphylinidae	Col. 135						Staphylinidae	Col. 99					
Hydrophilidae	Col. 162						Chrysomelidae	Col. 103					
Scarabaeidae	Col. 45						Curculionidae	Col. 106					
Tenebrionidae	Col. 53						Chelonariidae	Col. 112					
Anobiidae	Col. 55						Staphylinidae	Col. 113					
Nitidulidae	Col. 81						Scarabaeidae	Col. 114					
Carabidae	Col. 94						Curculionidae	Col. 118					
Staphylinidae	Col. 100						Staphylinidae	Col. 125					
Ptilodactylidae	Col. 107						Cerambycidae	Col. 128					
Staphylinidae	Col. 124						Carabidae	Col. 142					
Carabidae	Col. 48						Carabidae	Col. 143					
Chrysomelidae	Col. 74						Elateridae	Col. 151					
Chrysomelidae	Col. 78						Scarabaeidae	Col. 152					
Carabidae	Col. 95						Staphylinidae	Col. 154					
Carabidae	Col. 96						Staphylinidae	Col. 157					
Staphylinidae	Col. 127						Histeridae	Col. 173					
Scydmaenidae	Col. 140						Dytiscidae	Col. 181					
Staphylinidae	Col. 145						Carabidae	Col. 188					
Tenebrionidae	Col. 148						Chrysomelidae	Col. 196					
Carabidae	Col. 14						Carabidae	Col. 199					
Carabidae	Col. 38						Coccinellidae	Col. 30					
Scarabaeidae	Col. 40						Chrysomelidae	Col. 46					
Curculionidae	Col. 84						Chrysomelidae	Col. 49					
Scarabaeidae	Col. 119						Chrysomelidae	Col. 63					
Anthicidae	Col. 126						Scarabaeidae	Col. 65					
Staphylinidae	Col. 138						Passalidae	Col. 92					
Carabidae	Col. 150						Scarabaeidae	Col. 97					
Scarabaeidae	Col. 11						Eucnemidae	Col. 104					
Tenebrionidae	Col. 19						Chrysomelidae	Col. 110					
Chrysomelidae	Col. 50						Curculionidae	Col. 116					
Carabidae	Col. 57						Tenebrionidae	Col. 117					
Curculionidae	Col. 73						Elateridae	Col. 120					
Chrysomelidae	Col. 109						Erotylidae	Col. 121					
Staphylinidae	Col. 122						Tenebrionidae	Col. 130					
Scarabaeidae	Col. 131						Chrysomelidae	Col. 133					
Tenebrionidae	Col. 132						Scarabaeidae	Col. 134					
Carabidae	Col. 144						Scarabaeidae	Col. 136					
Staphylinidae	Col. 147						Carabidae	Col. 137					
Carabidae	Col. 156						Coccinellidae	Col. 141					
Linnichidae	Col. 168						Staphylinidae	Col. 153					
Scarabaeidae	Col. 3						Staphylinidae	Col. 155					
Curculionidae	Col. 35						Carabidae	Col. 159					
Elateridae	Col. 59						Scarabaeidae	Col. 160					

>66%  
 34% < Dist < 65%  
 ≤33%  
 Ausente

APÊNDICE A6 - Contribuição das morfoespécies de Coleoptera para a dissimilaridade das regiões por análise SIMPER e classificação de ocorrência em generalizada ( $\geq 66\%$  das áreas), frequente (de 34 a 65% das áreas), ocasional ( $\leq 33\%$ ), ausente (sem ocorrência). (Conclusão)

Família	Morfoespécie	L	O	P	S	Regiões	Família	Morfoespécie	L	O	P	S	Regiões
Scarabaeidae	Col. 161						Linnichidae	Col. 189					
Melyridae	Col. 163						Scarabaeidae	Col. 190					
Carabidae	Col. 164						Hydrophilidae	Col. 191					
Heteroceridae	Col. 165						Monotomidae	Col. 193					
	Col. 166						Scarabaeidae	Col. 194					
Chrysomelidae	Col. 167							Col. 195					
Leiodidae	Col. 169						Staphylinidae	Col. 197					
Histeridae	Col. 170						Elateridae	Col. 200					
Carabidae	Col. 174						Staphylinidae	Col. 201					
	Col. 178						Nitidulidae	Col. 202					
	Col. 179						Histeridae	Col. 158					
Carabidae	Col. 180						Carabidae	Col. 175					
Anthicidae	Col. 182						Scydmaenidae	Col. 176					
Staphylinidae	Col. 183							Col. 185					
Staphylinidae	Col. 184							Col. 187					
Staphylinidae	Col. 186						Curculionidae	Col. 192					

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Leste (L); Oeste (O); Planalto (P); Sul (S).

Considerando 15 áreas amostradas por região e 60 no total.

Na análise SIMPER foram apresentadas apenas a porcentagem das morfoespécies com contribuição superior a 3% para separação das regiões (por exemplo, O-S indica que a morfoespécie contribuiu para a separação das regiões Oeste e Sul), no inverno e verão. Nas morfoespécies que não aparece o valor de contribuição SIMPER, apresentaram porcentagem menor que 3%.

Apêndice A7 - Teste de Mantel e Mantel Parcial relacionando a dissimilaridade da comunidade de morfoespécies de Coleoptera e os atributos do solo, manejo, classe de solo e distância geográfica, no inverno e verão.

Teste de Mantel Inverno										
	C <sub>vs</sub> D	C <sub>vs</sub> Q	C <sub>vs</sub> F	C <sub>vs</sub> Mi	C <sub>vs</sub> S	C <sub>vs</sub> Ma	Q <sub>vs</sub> D	F <sub>vs</sub> D	Mi <sub>vs</sub> D	S <sub>vs</sub> D
R	0,061	0,210	0,232	0,044	0,187	0,183	0,042	0,122	0,054	0,578
p	0,072	0,001*	0,001*	0,199	0,001*	0,001*	0,165	0,007*	0,144	0,001*
Teste de Mantel Parcial Inverno										
	C <sub>vs</sub> D/Q	C <sub>vs</sub> D/F	C <sub>vs</sub> D/Mi	C <sub>vs</sub> D/S	C <sub>vs</sub> D/Ma	C <sub>vs</sub> Q/D	C <sub>vs</sub> F/D	C <sub>vs</sub> Mi/D	C <sub>vs</sub> S/D	C <sub>vs</sub> Ma/D
R	0,053	0,034	0,059	-0,059	0,063	0,208	0,227	0,041	0,186	0,184
p	0,106	0,202	0,079	0,880	0,074	0,001*	0,001*	0,226	0,001*	0,001*
Teste de Mantel Verão										
	C <sub>vs</sub> D	C <sub>vs</sub> Q	C <sub>vs</sub> F	C <sub>vs</sub> Mi	C <sub>vs</sub> S	C <sub>vs</sub> Ma	Q <sub>vs</sub> D	F <sub>vs</sub> D	Mi <sub>vs</sub> D	S <sub>vs</sub> D
R	0,207	0,096	0,027	0,104	0,176	0,157	0,003	0,086	0,153	0,578
p	0,001*	0,031*	0,311	0,028*	0,001*	0,001*	0,452	0,051	0,005*	0,001*
Teste de Mantel Parcial Verão										
	C <sub>vs</sub> D/Q	C <sub>vs</sub> D/F	C <sub>vs</sub> D/Mi	C <sub>vs</sub> D/S	C <sub>vs</sub> D/Ma	C <sub>vs</sub> Q/D	C <sub>vs</sub> F/D	C <sub>vs</sub> Mi/D	C <sub>vs</sub> S/D	C <sub>vs</sub> Ma/D
R	0,208	0,205	0,194	0,131	0,211	0,097	0,010	0,075	0,071	0,162
p	0,001*	0,001*	0,001*	0,010*	0,001*	0,031*	0,440	0,085	0,055	0,001*

Estatística do teste de Mantel (R); valor da significância (p); Comunidade de morfoespécies de Coleoptera (C); Distancia espacial (D); Variáveis químicas do solo (Q); Variáveis Físicas do Solo (F); Variáveis microbiológicas do solo (Mi); Classes de solo (S); Manejo do solo (Ma); versus (vs); condicionado a terceira matriz (/); significativo em  $p < 0,05$  (\*).

APÊNDICE A8 – Morfoespécies de coleópteros indicadoras dos usos do solo em Santa Catarina. (Continua)

Col. 01  
Staphylinidae



Col. 05  
Scarabaeidae



Col. 08  
Staphylinidae



Col. 22  
Staphylinidae



Col. 23  
Carabidae



Col. 26  
Staphylinidae



Col. 27  
Staphylinidae



Col. 31  
Staphylinidae



Col. 36  
Staphylinidae



Col. 42  
Staphylinidae



Col. 51  
Staphylinidae



Col. 52  
Staphylinidae



Col. 53  
Tenebrionidae



Col. 68  
Nitidulidae



Col. 69  
Histeridae



Col. 70  
Chrysomelidae



APÊNDICE A8 – Morfoespécies de coleópteros indicadoras dos usos do solo em Santa Catarina. (Conclusão)

Col. 77  
Staphylinidae



Col. 78  
Chrysomelidae



Col. 79  
Staphylinidae



Col. 82  
Anthicidae



Col. 87  
Staphylinidae



Col. 91  
Staphylinidae



Col. 93  
Scarabaeidae



Col. 100  
Staphylinidae



Col. 105  
Carabidae



Col. 107  
Ptilodactylidae



Col. 115  
Chrysomelidae



Col. 138  
Staphylinidae



Col. 149  
Curculionidae



Col. 150  
Carabidae



APÊNDICE A9 – Média  $\pm$  desvio padrão das variáveis do solo em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no inverno e verão em Santa Catarina. (Continua)

<b>Variável</b>	<b>FN</b>	<b>RE</b>	<b>PA</b>	<b>ILP</b>	<b>PD</b>
<b>Planalto (inverno)</b>					
<b>CMic</b>	576,94 $\pm$ 104,53	394,39 $\pm$ 104,66	544,31 $\pm$ 123,79	284,02 $\pm$ 51,65	280,24 $\pm$ 92,97
<b>RMic</b>	78,95 $\pm$ 19,88	54,73 $\pm$ 11,10	62,99 $\pm$ 15,30	39,60 $\pm$ 13,06	32,04 $\pm$ 10,21
<b>COT</b>	56,77 $\pm$ 8,05	34,83 $\pm$ 7,53	41,09 $\pm$ 4,90	36,84 $\pm$ 7,29	36,02 $\pm$ 10,80
<b>N</b>	4,61 $\pm$ 0,65	2,42 $\pm$ 0,47	2,92 $\pm$ 0,32	2,70 $\pm$ 0,40	2,61 $\pm$ 0,70
<b>C/N</b>	12,41 $\pm$ 1,22	14,49 $\pm$ 1,53	14,07 $\pm$ 0,84	13,60 $\pm$ 1,06	13,73 $\pm$ 0,81
<b>pH</b>	4,42 $\pm$ 0,53	4,62 $\pm$ 0,46	4,76 $\pm$ 0,23	5,32 $\pm$ 0,20	5,57 $\pm$ 0,18
<b>pH SMP</b>	4,93 $\pm$ 0,66	5,12 $\pm$ 0,65	4,98 $\pm$ 0,51	5,76 $\pm$ 0,29	5,94 $\pm$ 0,21
<b>P</b>	4,30 $\pm$ 0,89	3,91 $\pm$ 0,75	3,59 $\pm$ 0,88	8,71 $\pm$ 3,65	5,83 $\pm$ 1,88
<b>K</b>	111,73 $\pm$ 31,79	84,41 $\pm$ 23,09	190,29 $\pm$ 62,35	135,32 $\pm$ 39,66	128,40 $\pm$ 52,60
<b>MO</b>	6,18 $\pm$ 0,52	4,42 $\pm$ 0,44	5,24 $\pm$ 0,45	4,69 $\pm$ 0,58	4,49 $\pm$ 0,57
<b>Ca</b>	5,19 $\pm$ 3,93	1,97 $\pm$ 1,22	2,11 $\pm$ 0,78	7,22 $\pm$ 0,98	7,47 $\pm$ 1,30
<b>Mg</b>	1,66 $\pm$ 1,10	1,83 $\pm$ 1,15	1,43 $\pm$ 0,44	3,77 $\pm$ 1,28	3,81 $\pm$ 0,66
<b>Umi</b>	57,71 $\pm$ 8,34	42,41 $\pm$ 7,97	50,81 $\pm$ 7,38	39,87 $\pm$ 6,95	38,74 $\pm$ 8,29
<b>Ds</b>	0,89 $\pm$ 0,04	0,98 $\pm$ 0,05	0,95 $\pm$ 0,04	1,01 $\pm$ 0,05	1,01 $\pm$ 0,08
<b>PT</b>	0,65 $\pm$ 0,02	0,65 $\pm$ 0,03	0,66 $\pm$ 0,02	0,65 $\pm$ 0,02	0,65 $\pm$ 0,02
<b>Macro</b>	0,09 $\pm$ 0,04	0,15 $\pm$ 0,05	0,17 $\pm$ 0,06	0,19 $\pm$ 0,02	0,20 $\pm$ 0,02
<b>Bio</b>	0,03 $\pm$ 0,01	0,03 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,01	0,01 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,01
<b>Areia</b>	42,87 $\pm$ 14,95	35,48 $\pm$ 17,97	34,28 $\pm$ 13,51	25,92 $\pm$ 16,64	19,08 $\pm$ 9,51
<b>Argila</b>	37,74 $\pm$ 11,70	46,18 $\pm$ 17,30	46,53 $\pm$ 14,09	49,95 $\pm$ 20,13	47,12 $\pm$ 20,87
<b>DMP</b>	5,55 $\pm$ 0,36	5,58 $\pm$ 0,45	5,68 $\pm$ 0,32	5,51 $\pm$ 0,37	5,62 $\pm$ 0,16
<b>Oeste (inverno)</b>					
<b>CMic</b>	354,31 $\pm$ 88,89	184,93 $\pm$ 45,27	473,89 $\pm$ 126,48	136,82 $\pm$ 34,24	153,13 $\pm$ 55,65
<b>RMic</b>	81,27 $\pm$ 23,81	59,38 $\pm$ 25,08	94,49 $\pm$ 27,53	65,59 $\pm$ 21,16	56,05 $\pm$ 22,56
<b>COT</b>	49,64 $\pm$ 6,97	31,07 $\pm$ 2,53	41,37 $\pm$ 5,05	31,73 $\pm$ 2,60	31,24 $\pm$ 1,99
<b>N</b>	4,04 $\pm$ 0,62	2,39 $\pm$ 0,25	3,10 $\pm$ 0,45	2,47 $\pm$ 0,26	2,46 $\pm$ 0,15
<b>C/N</b>	12,34 $\pm$ 0,71	13,04 $\pm$ 0,84	13,43 $\pm$ 0,59	12,91 $\pm$ 0,71	12,75 $\pm$ 0,95
<b>pH</b>	4,28 $\pm$ 0,21	4,78 $\pm$ 0,24	5,04 $\pm$ 0,33	5,25 $\pm$ 0,26	5,63 $\pm$ 0,37
<b>pH SMP</b>	4,77 $\pm$ 0,30	5,26 $\pm$ 0,21	5,61 $\pm$ 0,27	5,79 $\pm$ 0,19	6,09 $\pm$ 0,27
<b>P</b>	5,24 $\pm$ 0,80	5,13 $\pm$ 1,00	4,69 $\pm$ 1,23	11,97 $\pm$ 4,25	14,92 $\pm$ 3,52
<b>K</b>	82,40 $\pm$ 21,03	105,65 $\pm$ 55,48	145,00 $\pm$ 77,62	178,10 $\pm$ 81,58	261,82 $\pm$ 114,60
<b>MO</b>	4,93 $\pm$ 0,46	4,08 $\pm$ 0,25	4,86 $\pm$ 0,29	3,99 $\pm$ 0,46	4,05 $\pm$ 0,48
<b>Ca</b>	1,80 $\pm$ 0,87	3,01 $\pm$ 1,00	3,63 $\pm$ 1,13	5,27 $\pm$ 1,23	7,20 $\pm$ 1,14
<b>Mg</b>	0,71 $\pm$ 0,39	1,24 $\pm$ 0,33	1,84 $\pm$ 0,62	2,33 $\pm$ 0,53	2,78 $\pm$ 0,82
<b>Umi</b>	53,99 $\pm$ 7,52	33,82 $\pm$ 1,73	43,64 $\pm$ 7,34	32,31 $\pm$ 1,33	32,44 $\pm$ 1,53
<b>Ds</b>	0,94 $\pm$ 0,09	1,05 $\pm$ 0,10	1,09 $\pm$ 0,08	1,17 $\pm$ 0,07	1,15 $\pm$ 0,05
<b>PT</b>	0,64 $\pm$ 0,03	0,62 $\pm$ 0,05	0,60 $\pm$ 0,03	0,57 $\pm$ 0,03	0,59 $\pm$ 0,02
<b>Macro</b>	0,25 $\pm$ 0,07	0,19 $\pm$ 0,08	0,07 $\pm$ 0,03	0,14 $\pm$ 0,06	0,12 $\pm$ 0,03
<b>Bio</b>	0,11 $\pm$ 0,05	0,06 $\pm$ 0,02	0,03 $\pm$ 0,01	0,07 $\pm$ 0,04	0,05 $\pm$ 0,02
<b>Areia</b>	37,82 $\pm$ 10,82	40,35 $\pm$ 10,40	37,86 $\pm$ 9,38	33,16 $\pm$ 9,02	33,68 $\pm$ 5,53
<b>Argila</b>	37,25 $\pm$ 10,41	32,17 $\pm$ 8,06	34,28 $\pm$ 4,66	36,25 $\pm$ 9,42	33,89 $\pm$ 9,21
<b>DMP</b>	5,24 $\pm$ 0,42	5,06 $\pm$ 0,64	5,69 $\pm$ 0,31	5,61 $\pm$ 0,32	5,39 $\pm$ 0,52
<b>Leste (inverno)</b>					
<b>CMic</b>	275,26 $\pm$ 77,27	300,32 $\pm$ 108,74	256,78 $\pm$ 102,13	307,10 $\pm$ 130,75	123,52 $\pm$ 33,37

APÊNDICE A9 – Média  $\pm$  desvio padrão das variáveis do solo em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no inverno e verão em Santa Catarina. (Continuação)

Variável	FN	RE	PA	ILP	PD
Leste (inverno)					
<b>RMic</b>	29,45 $\pm$ 16,66	28,54 $\pm$ 11,03	35,21 $\pm$ 12,09	29,99 $\pm$ 9,60	18,98 $\pm$ 12,79
<b>COT</b>	28,70 $\pm$ 8,26	18,82 $\pm$ 5,31	19,83 $\pm$ 5,86	18,16 $\pm$ 6,28	17,56 $\pm$ 2,11
<b>N</b>	2,76 $\pm$ 0,71	1,66 $\pm$ 0,43	1,66 $\pm$ 0,46	1,61 $\pm$ 0,56	1,80 $\pm$ 0,18
<b>C/N</b>	10,35 $\pm$ 0,82	11,36 $\pm$ 1,13	11,76 $\pm$ 1,70	11,70 $\pm$ 1,86	9,80 $\pm$ 1,10
<b>pH</b>	4,64 $\pm$ 0,57	4,56 $\pm$ 0,37	5,06 $\pm$ 0,29	5,67 $\pm$ 0,79	4,87 $\pm$ 0,20
<b>pH SMP</b>	5,81 $\pm$ 0,43	5,84 $\pm$ 0,19	6,20 $\pm$ 0,27	6,37 $\pm$ 0,57	5,87 $\pm$ 0,23
<b>P</b>	9,73 $\pm$ 5,10	7,61 $\pm$ 2,49	20,07 $\pm$ 16,97	72,82 $\pm$ 35,36	30,22 $\pm$ 7,56
<b>K</b>	35,66 $\pm$ 7,83	94,24 $\pm$ 81,12	60,95 $\pm$ 21,89	137,45 $\pm$ 74,50	156,26 $\pm$ 86,50
<b>MO</b>	3,01 $\pm$ 0,67	2,30 $\pm$ 0,42	3,10 $\pm$ 1,03	2,13 $\pm$ 0,39	2,01 $\pm$ 0,41
<b>Ca</b>	2,73 $\pm$ 1,62	2,13 $\pm$ 1,87	2,70 $\pm$ 1,11	5,61 $\pm$ 3,07	3,46 $\pm$ 0,59
<b>Mg</b>	1,09 $\pm$ 0,42	0,91 $\pm$ 0,52	1,07 $\pm$ 0,40	1,74 $\pm$ 0,85	1,11 $\pm$ 0,39
<b>Umi</b>	41,59 $\pm$ 8,50	28,16 $\pm$ 6,49	43,06 $\pm$ 8,92	32,75 $\pm$ 5,72	37,21 $\pm$ 3,48
<b>Ds</b>	1,10 $\pm$ 0,12	1,50 $\pm$ 0,10	1,33 $\pm$ 0,14	1,38 $\pm$ 0,18	1,32 $\pm$ 0,14
<b>PT</b>	0,59 $\pm$ 0,06	0,43 $\pm$ 0,05	0,49 $\pm$ 0,07	0,47 $\pm$ 0,09	0,50 $\pm$ 0,06
<b>Macro</b>	0,16 $\pm$ 0,03	0,13 $\pm$ 0,04	0,16 $\pm$ 0,04	0,13 $\pm$ 0,03	0,17 $\pm$ 0,03
<b>Bio</b>	0,05 $\pm$ 0,02	0,05 $\pm$ 0,02	0,02 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,01	0,04 $\pm$ 0,02
<b>Areia</b>	58,25 $\pm$ 11,15	60,87 $\pm$ 14,89	54,24 $\pm$ 13,09	59,78 $\pm$ 17,24	52,92 $\pm$ 7,73
<b>Argila</b>	31,67 $\pm$ 12,81	23,71 $\pm$ 6,90	22,85 $\pm$ 5,24	25,13 $\pm$ 13,15	33,65 $\pm$ 12,00
<b>DMP</b>	5,27 $\pm$ 0,45	5,19 $\pm$ 0,56	4,76 $\pm$ 0,95	5,03 $\pm$ 0,66	4,70 $\pm$ 0,82
Sul (inverno)					
<b>CMic</b>	280,74 $\pm$ 84,96	289,60 $\pm$ 110,80	324,20 $\pm$ 103,01	267,88 $\pm$ 60,76	210,08 $\pm$ 100,63
<b>RMic</b>	27,41 $\pm$ 12,98	33,48 $\pm$ 7,59	46,25 $\pm$ 22,82	19,14 $\pm$ 5,66	22,41 $\pm$ 7,91
<b>COT</b>	31,16 $\pm$ 10,46	37,77 $\pm$ 34,12	31,59 $\pm$ 20,20	19,87 $\pm$ 5,22	13,96 $\pm$ 3,94
<b>N</b>	2,71 $\pm$ 0,80	14,46 $\pm$ 15,90	18,73 $\pm$ 20,21	2,16 $\pm$ 0,59	1,25 $\pm$ 0,29
<b>C/N</b>	11,47 $\pm$ 0,84	8,07 $\pm$ 5,53	7,42 $\pm$ 4,78	9,30 $\pm$ 0,83	11,30 $\pm$ 2,26
<b>pH</b>	4,10 $\pm$ 0,30	4,37 $\pm$ 0,36	4,70 $\pm$ 0,27	5,26 $\pm$ 0,26	5,86 $\pm$ 0,37
<b>pH SMP</b>	5,25 $\pm$ 0,45	5,41 $\pm$ 0,65	5,39 $\pm$ 0,68	6,18 $\pm$ 0,22	6,55 $\pm$ 0,20
<b>P</b>	6,49 $\pm$ 2,91	5,37 $\pm$ 1,79	6,55 $\pm$ 2,65	75,69 $\pm$ 44,19	54,46 $\pm$ 34,97
<b>K</b>	81,10 $\pm$ 28,74	81,02 $\pm$ 30,66	82,94 $\pm$ 26,83	229,88 $\pm$ 97,86	104,73 $\pm$ 25,46
<b>MO</b>	4,04 $\pm$ 0,69	3,43 $\pm$ 0,80	4,76 $\pm$ 1,38	3,67 $\pm$ 0,98	2,40 $\pm$ 0,24
<b>Ca</b>	1,00 $\pm$ 0,87	1,25 $\pm$ 1,49	0,80 $\pm$ 0,32	4,67 $\pm$ 1,24	5,33 $\pm$ 1,48
<b>Mg</b>	0,51 $\pm$ 0,23	0,77 $\pm$ 0,59	0,50 $\pm$ 0,14	1,71 $\pm$ 0,40	2,17 $\pm$ 0,55
<b>Umi</b>	32,32 $\pm$ 9,53	26,17 $\pm$ 7,72	43,14 $\pm$ 16,81	24,32 $\pm$ 4,72	21,94 $\pm$ 6,28
<b>Ds</b>	1,16 $\pm$ 0,14	1,24 $\pm$ 0,18	1,07 $\pm$ 0,17	1,42 $\pm$ 0,13	1,47 $\pm$ 0,08
<b>PT</b>	0,57 $\pm$ 0,06	0,54 $\pm$ 0,07	0,60 $\pm$ 0,06	0,49 $\pm$ 0,07	0,48 $\pm$ 0,04
<b>Macro</b>	0,19 $\pm$ 0,08	0,15 $\pm$ 0,06	0,13 $\pm$ 0,05	0,07 $\pm$ 0,06	0,13 $\pm$ 0,05
<b>Bio</b>	0,07 $\pm$ 0,03	0,07 $\pm$ 0,04	0,03 $\pm$ 0,02	0,08 $\pm$ 0,11	0,05 $\pm$ 0,03
<b>Areia</b>	57,49 $\pm$ 16,73	54,06 $\pm$ 12,09	68,04 $\pm$ 6,60	63,24 $\pm$ 6,29	74,30 $\pm$ 5,44
<b>Argila</b>	25,60 $\pm$ 10,27	28,23 $\pm$ 10,88	23,21 $\pm$ 6,47	22,87 $\pm$ 5,61	16,31 $\pm$ 5,59
<b>DMP</b>	5,28 $\pm$ 0,50	5,80 $\pm$ 0,28	5,53 $\pm$ 0,31	5,00 $\pm$ 0,62	4,25 $\pm$ 0,83
Planalto (verão)					
<b>CMic</b>	382,26 $\pm$ 83,04	244,01 $\pm$ 96,38	424,43 $\pm$ 99,72	184,95 $\pm$ 83,83	199,39 $\pm$ 59,80
<b>RMic</b>	134,08 $\pm$ 24,35	78,39 $\pm$ 19,35	94,03 $\pm$ 12,04	64,21 $\pm$ 11,31	66,33 $\pm$ 12,30

APÊNDICE A9 – Média  $\pm$  desvio padrão das variáveis do solo em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no inverno e verão em Santa Catarina. (Continuação)

Variável	FN	RE	PA	ILP	PD
Planalto (verão)					
<b>COT</b>	69,32 $\pm$ 10,67	43,16 $\pm$ 8,11	49,04 $\pm$ 5,29	40,14 $\pm$ 6,06	39,43 $\pm$ 8,98
<b>N</b>	4,96 $\pm$ 0,75	2,46 $\pm$ 0,48	2,98 $\pm$ 0,30	2,57 $\pm$ 0,31	2,44 $\pm$ 0,52
<b>C/N</b>	14,07 $\pm$ 1,19	17,84 $\pm$ 2,08	16,49 $\pm$ 0,73	15,58 $\pm$ 0,73	16,13 $\pm$ 0,56
<b>pH</b>	4,42 $\pm$ 0,53	4,62 $\pm$ 0,46	4,76 $\pm$ 0,23	5,32 $\pm$ 0,20	5,57 $\pm$ 0,18
<b>pH SMP</b>	4,93 $\pm$ 0,66	5,12 $\pm$ 0,65	4,98 $\pm$ 0,51	5,76 $\pm$ 0,29	5,94 $\pm$ 0,21
<b>P</b>	4,30 $\pm$ 0,89	3,91 $\pm$ 0,75	3,59 $\pm$ 0,88	8,71 $\pm$ 3,65	5,83 $\pm$ 1,88
<b>K</b>	111,73 $\pm$ 31,79	84,41 $\pm$ 23,09	190,29 $\pm$ 62,35	135,32 $\pm$ 39,66	128,40 $\pm$ 52,60
<b>MO</b>	6,18 $\pm$ 0,52	4,42 $\pm$ 0,44	5,24 $\pm$ 0,45	4,69 $\pm$ 0,58	4,49 $\pm$ 0,57
<b>Ca</b>	5,19 $\pm$ 3,93	1,97 $\pm$ 1,22	2,11 $\pm$ 0,78	7,22 $\pm$ 0,98	7,47 $\pm$ 1,30
<b>Mg</b>	1,66 $\pm$ 1,10	1,83 $\pm$ 1,15	1,43 $\pm$ 0,44	3,77 $\pm$ 1,28	3,81 $\pm$ 0,66
<b>Umi</b>	55,43 $\pm$ 12,57	35,95 $\pm$ 8,62	40,59 $\pm$ 5,07	32,27 $\pm$ 6,57	35,46 $\pm$ 6,11
<b>Ds</b>	0,89 $\pm$ 0,04	0,98 $\pm$ 0,05	0,95 $\pm$ 0,04	1,01 $\pm$ 0,05	1,01 $\pm$ 0,08
<b>PT</b>	0,65 $\pm$ 0,02	0,65 $\pm$ 0,03	0,66 $\pm$ 0,02	0,65 $\pm$ 0,02	0,65 $\pm$ 0,02
<b>Macro</b>	0,09 $\pm$ 0,04	0,15 $\pm$ 0,05	0,17 $\pm$ 0,06	0,19 $\pm$ 0,02	0,20 $\pm$ 0,02
<b>Bio</b>	0,03 $\pm$ 0,01	0,03 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,01	0,01 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,01
<b>Areia</b>	42,87 $\pm$ 14,95	35,48 $\pm$ 17,97	34,28 $\pm$ 13,51	25,92 $\pm$ 16,64	19,08 $\pm$ 9,51
<b>Argila</b>	37,74 $\pm$ 11,70	46,18 $\pm$ 17,30	46,53 $\pm$ 14,09	49,95 $\pm$ 20,13	47,12 $\pm$ 20,87
<b>DMP</b>	5,55 $\pm$ 0,36	5,58 $\pm$ 0,45	5,68 $\pm$ 0,32	5,51 $\pm$ 0,37	5,62 $\pm$ 0,16
Oeste (verão)					
<b>CMic</b>	271,46 $\pm$ 59,72	136,93 $\pm$ 39,86	320,48 $\pm$ 70,06	177,99 $\pm$ 50,82	106,19 $\pm$ 27,72
<b>RMic</b>	84,81 $\pm$ 23,58	53,53 $\pm$ 14,88	102,11 $\pm$ 19,02	56,13 $\pm$ 14,96	60,06 $\pm$ 16,18
<b>COT</b>	47,99 $\pm$ 6,07	31,96 $\pm$ 1,52	44,12 $\pm$ 5,35	31,42 $\pm$ 3,96	30,98 $\pm$ 3,76
<b>N</b>	3,64 $\pm$ 0,51	2,22 $\pm$ 0,23	3,07 $\pm$ 0,61	2,16 $\pm$ 0,28	2,17 $\pm$ 0,28
<b>C/N</b>	13,34 $\pm$ 1,39	14,64 $\pm$ 1,81	14,76 $\pm$ 1,37	14,56 $\pm$ 0,58	14,31 $\pm$ 0,48
<b>pH</b>	4,28 $\pm$ 0,21	4,78 $\pm$ 0,24	5,04 $\pm$ 0,33	5,25 $\pm$ 0,26	5,63 $\pm$ 0,37
<b>pH SMP</b>	4,77 $\pm$ 0,30	5,26 $\pm$ 0,21	5,61 $\pm$ 0,27	5,79 $\pm$ 0,19	6,09 $\pm$ 0,27
<b>P</b>	5,24 $\pm$ 0,80	5,13 $\pm$ 1,00	4,69 $\pm$ 1,23	11,97 $\pm$ 4,25	14,92 $\pm$ 3,52
<b>K</b>	82,40 $\pm$ 21,03	105,65 $\pm$ 55,48	145,00 $\pm$ 77,62	178,10 $\pm$ 81,58	261,82 $\pm$ 114,60
<b>MO</b>	4,93 $\pm$ 0,46	4,08 $\pm$ 0,25	4,86 $\pm$ 0,29	3,99 $\pm$ 0,46	4,05 $\pm$ 0,48
<b>Ca</b>	1,80 $\pm$ 0,87	3,01 $\pm$ 1,00	3,63 $\pm$ 1,13	5,27 $\pm$ 1,23	7,20 $\pm$ 1,14
<b>Mg</b>	0,71 $\pm$ 0,39	1,24 $\pm$ 0,33	1,84 $\pm$ 0,62	2,33 $\pm$ 0,53	2,78 $\pm$ 0,82
<b>Umi</b>	40,42 $\pm$ 6,62	27,26 $\pm$ 2,13	29,91 $\pm$ 4,72	25,93 $\pm$ 5,12	25,55 $\pm$ 3,67
<b>Ds</b>	0,94 $\pm$ 0,09	1,05 $\pm$ 0,10	1,09 $\pm$ 0,08	1,17 $\pm$ 0,07	1,15 $\pm$ 0,05
<b>PT</b>	0,64 $\pm$ 0,03	0,62 $\pm$ 0,05	0,60 $\pm$ 0,03	0,57 $\pm$ 0,03	0,59 $\pm$ 0,02
<b>Macro</b>	0,25 $\pm$ 0,07	0,19 $\pm$ 0,08	0,07 $\pm$ 0,03	0,14 $\pm$ 0,06	0,12 $\pm$ 0,03
<b>Bio</b>	0,11 $\pm$ 0,05	0,06 $\pm$ 0,02	0,03 $\pm$ 0,01	0,07 $\pm$ 0,04	0,05 $\pm$ 0,02
<b>Areia</b>	37,82 $\pm$ 10,82	40,35 $\pm$ 10,40	37,86 $\pm$ 9,38	33,16 $\pm$ 9,02	33,68 $\pm$ 5,53
<b>Argila</b>	37,25 $\pm$ 10,41	32,17 $\pm$ 8,06	34,28 $\pm$ 4,66	36,25 $\pm$ 9,42	33,89 $\pm$ 9,21
<b>DMP</b>	5,24 $\pm$ 0,42	5,06 $\pm$ 0,64	5,69 $\pm$ 0,31	5,61 $\pm$ 0,32	5,39 $\pm$ 0,52
Leste (verão)					
<b>CMic</b>	422,12 $\pm$ 147,63	484,80 $\pm$ 167,95	634,31 $\pm$ 296,45	445,48 $\pm$ 207,71	735,64 $\pm$ 345,36
<b>RMic</b>	36,85 $\pm$ 8,49	22,71 $\pm$ 5,67	35,14 $\pm$ 7,08	27,13 $\pm$ 4,43	24,49 $\pm$ 5,26
<b>COT</b>	28,70 $\pm$ 8,26	18,82 $\pm$ 5,31	19,83 $\pm$ 5,86	18,16 $\pm$ 6,28	17,56 $\pm$ 2,11

APÊNDICE A9 – Média  $\pm$  desvio padrão das variáveis do solo em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no inverno e verão em Santa Catarina. (Conclusão)

Variável	FN	RE	PA	ILP	PD
Leste (verão)					
<b>N</b>	2,76 $\pm$ 0,71	1,66 $\pm$ 0,43	1,66 $\pm$ 0,46	1,61 $\pm$ 0,56	1,80 $\pm$ 0,18
<b>C/N</b>	10,35 $\pm$ 0,82	11,36 $\pm$ 1,13	11,78 $\pm$ 1,72	11,70 $\pm$ 1,86	9,80 $\pm$ 1,10
<b>pH</b>	4,64 $\pm$ 0,57	4,56 $\pm$ 0,37	5,06 $\pm$ 0,29	5,67 $\pm$ 0,79	4,87 $\pm$ 0,20
<b>pH SMP</b>	5,81 $\pm$ 0,43	5,84 $\pm$ 0,19	6,20 $\pm$ 0,27	6,37 $\pm$ 0,57	5,87 $\pm$ 0,23
<b>P</b>	9,73 $\pm$ 5,10	7,61 $\pm$ 2,49	20,07 $\pm$ 16,97	72,82 $\pm$ 35,36	30,22 $\pm$ 7,56
<b>K</b>	35,66 $\pm$ 7,83	94,24 $\pm$ 81,12	60,95 $\pm$ 21,89	137,45 $\pm$ 74,50	156,26 $\pm$ 86,50
<b>MO</b>	3,01 $\pm$ 0,67	2,30 $\pm$ 0,42	3,10 $\pm$ 1,03	2,13 $\pm$ 0,39	2,01 $\pm$ 0,41
<b>Ca</b>	2,73 $\pm$ 1,62	2,13 $\pm$ 1,87	2,70 $\pm$ 1,11	5,61 $\pm$ 3,07	3,46 $\pm$ 0,59
<b>Mg</b>	1,09 $\pm$ 0,42	0,91 $\pm$ 0,52	1,07 $\pm$ 0,40	1,74 $\pm$ 0,85	1,11 $\pm$ 0,39
<b>Umi</b>	39,38 $\pm$ 6,56	28,51 $\pm$ 7,26	37,79 $\pm$ 3,55	30,71 $\pm$ 7,15	34,72 $\pm$ 3,36
<b>Ds</b>	1,10 $\pm$ 0,12	1,50 $\pm$ 0,10	1,33 $\pm$ 0,14	1,38 $\pm$ 0,18	1,32 $\pm$ 0,14
<b>PT</b>	0,59 $\pm$ 0,06	0,43 $\pm$ 0,05	0,49 $\pm$ 0,07	0,47 $\pm$ 0,09	0,50 $\pm$ 0,06
<b>Macro</b>	0,16 $\pm$ 0,03	0,13 $\pm$ 0,04	0,16 $\pm$ 0,04	0,13 $\pm$ 0,03	0,17 $\pm$ 0,03
<b>Bio</b>	0,05 $\pm$ 0,02	0,05 $\pm$ 0,02	0,02 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,01	0,04 $\pm$ 0,02
<b>Areia</b>	58,25 $\pm$ 11,15	60,87 $\pm$ 14,89	54,24 $\pm$ 13,09	59,78 $\pm$ 17,24	52,92 $\pm$ 7,73
<b>Argila</b>	31,67 $\pm$ 12,81	23,71 $\pm$ 6,90	22,85 $\pm$ 5,24	25,13 $\pm$ 13,15	33,65 $\pm$ 12,00
<b>DMP</b>	5,27 $\pm$ 0,45	5,19 $\pm$ 0,56	4,76 $\pm$ 0,95	5,03 $\pm$ 0,66	4,70 $\pm$ 0,82
Sul (verão)					
<b>CMic</b>	407,54 $\pm$ 120,33	234,75 $\pm$ 62,29	388,79 $\pm$ 73,63	351,69 $\pm$ 123,12	194,04 $\pm$ 69,48
<b>RMic</b>	41,98 $\pm$ 9,41	17,80 $\pm$ 9,19	48,46 $\pm$ 14,31	26,44 $\pm$ 5,68	30,44 $\pm$ 7,89
<b>COT</b>	31,16 $\pm$ 10,46	37,77 $\pm$ 34,12	31,59 $\pm$ 20,20	19,87 $\pm$ 5,22	13,96 $\pm$ 3,94
<b>N</b>	2,71 $\pm$ 0,80	14,46 $\pm$ 15,90	18,73 $\pm$ 20,21	2,16 $\pm$ 0,59	1,25 $\pm$ 0,29
<b>C/N</b>	11,47 $\pm$ 0,84	8,07 $\pm$ 5,53	7,42 $\pm$ 4,78	9,30 $\pm$ 0,83	11,30 $\pm$ 2,26
<b>pH</b>	4,10 $\pm$ 0,30	4,37 $\pm$ 0,36	4,70 $\pm$ 0,27	5,26 $\pm$ 0,26	5,86 $\pm$ 0,37
<b>pH SMP</b>	5,25 $\pm$ 0,45	5,41 $\pm$ 0,65	5,39 $\pm$ 0,68	6,18 $\pm$ 0,22	6,55 $\pm$ 0,20
<b>P</b>	6,49 $\pm$ 2,91	5,37 $\pm$ 1,79	6,55 $\pm$ 2,65	75,69 $\pm$ 44,19	54,46 $\pm$ 34,97
<b>K</b>	81,10 $\pm$ 28,74	81,02 $\pm$ 30,66	82,94 $\pm$ 26,83	229,88 $\pm$ 97,86	104,73 $\pm$ 25,46
<b>MO</b>	4,04 $\pm$ 0,69	3,43 $\pm$ 0,80	4,76 $\pm$ 1,38	3,67 $\pm$ 0,98	2,40 $\pm$ 0,24
<b>Ca</b>	1,00 $\pm$ 0,87	1,25 $\pm$ 1,49	0,80 $\pm$ 0,32	4,67 $\pm$ 1,24	5,33 $\pm$ 1,48
<b>Mg</b>	0,51 $\pm$ 0,23	0,77 $\pm$ 0,59	0,50 $\pm$ 0,14	1,71 $\pm$ 0,40	2,17 $\pm$ 0,55
<b>Umi</b>	39,41 $\pm$ 14,02	28,56 $\pm$ 11,02	45,77 $\pm$ 16,52	22,10 $\pm$ 6,47	18,37 $\pm$ 3,77
<b>Ds</b>	1,16 $\pm$ 0,14	1,24 $\pm$ 0,18	1,07 $\pm$ 0,17	1,42 $\pm$ 0,13	1,47 $\pm$ 0,08
<b>PT</b>	0,57 $\pm$ 0,06	0,54 $\pm$ 0,07	0,60 $\pm$ 0,06	0,49 $\pm$ 0,07	0,48 $\pm$ 0,04
<b>Macro</b>	0,19 $\pm$ 0,08	0,15 $\pm$ 0,06	0,13 $\pm$ 0,05	0,07 $\pm$ 0,06	0,13 $\pm$ 0,05
<b>Bio</b>	0,07 $\pm$ 0,03	0,07 $\pm$ 0,04	0,03 $\pm$ 0,02	0,08 $\pm$ 0,11	0,05 $\pm$ 0,03
<b>Areia</b>	57,49 $\pm$ 16,73	54,06 $\pm$ 12,09	68,04 $\pm$ 6,60	63,24 $\pm$ 6,29	74,30 $\pm$ 5,44
<b>Argila</b>	25,60 $\pm$ 10,27	28,23 $\pm$ 10,88	23,21 $\pm$ 6,47	22,87 $\pm$ 5,61	16,31 $\pm$ 5,59
<b>DMP</b>	5,28 $\pm$ 0,50	5,80 $\pm$ 0,28	5,53 $\pm$ 0,31	5,00 $\pm$ 0,62	4,25 $\pm$ 0,83

Carbono da biomassa microbiana mg Kg<sup>-1</sup> (CMic); respiração basal microbiana mg C-CO<sub>2</sub> Kg<sup>-1</sup> solo h<sup>-1</sup> (RMic); carbono orgânico total % (COT); nitrogênio total % (N); relação carbono e nitrogênio (C/N); pH em solução SMP (pH SMP); fósforo mg dm<sup>-3</sup> (P); potássio mg dm<sup>-3</sup> (K); matéria orgânica % (MO); cálcio cmolc/dm<sup>3</sup> (Ca); magnésio cmolc/dm<sup>3</sup> (Mg); umidade volumétrica m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (Umi); densidade do solo g cm<sup>-3</sup> (DS); porosidade total m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (PT); macroporos m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (Macro); bioporos m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (Bio); diâmetro médio ponderado de agregados mm (DMP).

APÊNDICE A10 – Número de indivíduos de morfotipos eco-morfológicos de Coleoptera coletados nos sistemas floresta nativa (FN), integração lavoura-pecuária (ILP), pastagem (PA), plantio direto (PD), reflorestamento de eucalipto (RE), no inverno em Santa Catarina.

	<b>FN</b>	<b>ILP</b>	<b>PA</b>	<b>PD</b>	<b>RE</b>	<b>FN</b>	<b>ILP</b>	<b>PA</b>	<b>PD</b>	<b>RE</b>
	Planalto					Oeste				
<b>Ed1</b>	0	0	0	1	0	2	0	0	1	0
<b>Ed2</b>	2	2	0	7	1	5	6	5	6	3
<b>Ed5</b>	4	3	5	6	0	0	12	3	1	1
<b>H1</b>	7	2	5	6	1	6	30	11	2	1
<b>H2</b>	2	2	1	1	4	3	0	1	3	0
<b>H4</b>	4	1	2	0	0	0	0	0	0	2
<b>H5</b>	5	1	0	2	2	3	2	0	2	5
<b>H6</b>	24	23	22	2	0	0	9	51	2	0
<b>Ep1</b>	4	0	0	0	0	7	0	1	0	0
<b>EP2</b>	24	15	7	7	11	45	30	30	23	11
<b>Ep3</b>	2	3	0	0	0	0	2	12	3	2
<b>Ep4</b>	29	4	7	2	6	19	6	4	1	13
<b>Ep5</b>	39	59	17	31	28	58	112	54	48	42
	Leste					Sul				
<b>Ed1</b>	0	0	1	2	0	0	2	1	0	0
<b>Ed2</b>	0	7	8	4	0	3	8	3	1	0
<b>Ed5</b>	13	16	3	4	0	3	8	5	11	0
<b>H1</b>	5	100	41	49	69	5	46	25	104	18
<b>H2</b>	1	0	1	1	4	2	2	2	3	1
<b>H3</b>	0	0	0	0	0	2	0	0	0	4
<b>H4</b>	8	0	0	0	0	2	0	0	0	0
<b>H5</b>	2	3	1	0	3	1	0	0	0	7
<b>H6</b>	2	2	5	2	1	4	7	102	3	0
<b>Ep1</b>	6	0	2	1	1	3	2	0	1	3
<b>EP2</b>	16	99	49	37	98	22	51	21	45	32
<b>Ep3</b>	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1
<b>Ep4</b>	1	2	5	2	0	1	2	12	0	1
<b>Ep5</b>	64	32	27	26	13	5	38	20	77	4

Edáfico (Ed); hemiedáfico (H); epígeo (Ep).

APÊNDICE A11 – Número de indivíduos de morfotipos eco-morfológicos de Coleoptera coletados nos sistemas floresta nativa (FN), integração lavoura-pecuária (ILP), pastagem (PA), plantio direto (PD), reflorestamento de eucalipto (RE), no verão em Santa Catarina.

	<b>FN</b>	<b>ILP</b>	<b>PA</b>	<b>PD</b>	<b>RE</b>	<b>FN</b>	<b>ILP</b>	<b>PA</b>	<b>PD</b>	<b>RE</b>
	Planalto					Oeste				
<b>Ed1</b>	1	0	2	1	0	3	1	1	0	1
<b>Ed2</b>	84	3	11	12	5	5	23	3	30	0
<b>Ed5</b>	3	3	3	11	1	15	6	8	2	1
<b>H1</b>	8	3	4	13	9	14	3	2	5	2
<b>H2</b>	3	1	1	1	2	2	0	3	2	2
<b>H4</b>	3	1	1	0	0	2	0	0	0	0
<b>H5</b>	10	0	0	0	2	5	27	4	3	4
<b>H6</b>	11	40	9	1	3	9	4	20	4	0
<b>Ep1</b>	5	0	1	0	1	2	0	3	1	0
<b>EP2</b>	133	16	19	43	16	65	13	37	14	6
<b>Ep3</b>	1	4	4	1	3	2	0	3	5	0
<b>Ep4</b>	10	0	7	0	4	11	0	1	1	3
<b>Ep5</b>	169	152	20	83	38	171	34	62	39	51
	Leste					Sul				
<b>Ed2</b>	3	0	4	1	0	1	3	0	2	1
<b>Ed3</b>	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
<b>Ed4</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<b>Ed5</b>	12	2	1	3	0	0	14	2	7	1
<b>H1</b>	3	7	11	6	2	8	11	8	6	23
<b>H2</b>	1	0	0	0	1	1	2	2	1	4
<b>H3</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<b>H4</b>	10	0	0	0	1	12	0	1	4	4
<b>H5</b>	2	0	0	1	0	0	0	0	1	0
<b>H6</b>	1	3	14	0	0	10	1	19	1	1
<b>Ep1</b>	2	1	0	0	2	1	2	0	2	5
<b>EP2</b>	34	33	11	22	20	58	20	24	9	15
<b>Ep3</b>	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0
<b>Ep4</b>	4	4	7	5	1	1	2	16	0	2
<b>Ep5</b>	47	36	12	32	12	54	44	27	47	33

Edáfico (Ed); hemiedáfico (H); epígeo (Ep).

APÊNDICE B1 – Coordenada geográfica (CG) e condição da vegetação nas amostras dos sistemas de uso do solo (SUS) de floresta nativa (FN), plantio de eucalipto (PE), pastagem (PA), capoeira (CP), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), na janela da paisagem em Chapecó.

<b>Amostra</b>	<b>SUS</b>	<b>CG Sul</b>	<b>CG Oeste</b>	<b>Situação (1ª Coleta)</b>	<b>Situação (2ª Coleta)</b>
A1	FN	27°04'31.3"S	52°41'01.1"O	Conservado	Conservado
A2	PA	27°04'36.7"S	52°41'12.9"O	Campo introduzido	Campo introduzido
A3	PA	27°04'36.6"S	52°41'07.3"O	Campo introduzido	Campo introduzido
A4	FN	27°04'36.5"S	52°40'59.7"O	Conservado	Conservado
A5	FN	27°04'36.4"S	52°40'54.8"O	Conservado	Conservado
A6	FN	27°04'36.3"S	52°40'48.6"O	Conservado	Conservado
A7	PA	27°04'41.8"S	52°41'13.1"O	Campo introduzido	Campo introduzido
A8	PE	27°04'41.1"S	52°41'07.1"O	Eucaliptos em pé	Eucaliptos em pé
A9	PD	27°04'41.8"S	52°41'01.1"O	Soja colhida	Azevém
A10	PD	27°04'41.7"S	52°40'54.9"O	Soja colhida	Azevém
A11	FN	27°04'41.8"S	52°40'48.9"O	Conservado	Conservado
A12	PD	27°04'47.9"S	52°41'18.7"O	Milho em pé	Pousio
A13	PA	27°04'36.4"S	52°40'43.0"O	Campo nativo degradado	Campo nativo degradado
A14	ILP	27°04'47.0"S	52°41'07.2"O	Soja colhida	Azevém
A15	ILP	27°04'47.0"S	52°41'00.9"O	Soja colhida	Azevém
A16	CP	27°04'46.6"S	52°40'55.5"O	Pousio	Pousio
A17	PD	27°04'47.0"S	52°40'49.1"O	Soja colhida	Aveia
A18	PD	27°04'47.0"S	52°40'42.9"O	Soja colhida	Aveia
A19	PD	27°04'52.6"S	52°41'13.0"O	Soja colhida	Aveia
A20	PD	27°04'52.5"S	52°41'07.1"O	Soja colhida	Aveia
A21	ILP	27°04'52.5"S	52°41'00.9"O	Soja colhida	Azevém
A22	PD	27°04'52.4"S	52°40'55.0"O	Soja colhida	Aveia
A23	PD	27°04'52.5"S	52°40'48.9"O	Soja colhida	Aveia
A24	FN	27°04'58.0"S	52°41'13.2"O	Degradado	Degradado
A25	FN	27°04'57.4"S	52°41'07.3"O	Degradado	Degradado
A26	PD	27°04'57.9"S	52°41'01.0"O	Milho em pé	Pousio
A27	PD	27°04'57.9"S	52°40'54.9"O	Soja colhida	Aveia
A28	PE	27°04'57.2"S	52°40'49.2"O	Eucaliptos em pé	Eucaliptos
A29	PD	27°05'03.2"S	52°41'00.9"O	Milho em pé	Pousio

APÊNDICE B2 – Coordenada geográfica (CG) e condição da vegetação nas amostras dos sistemas de uso do solo (SUS) de floresta nativa (FN), plantio de eucalipto (PE), pastagem (PA), capoeira (CP), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), na janela da paisagem em Pinhalzinho.

<b>Amostra</b>	<b>SUS</b>	<b>CG Sul</b>	<b>CG Oeste</b>	<b>Situação (1ª Coleta)</b>	<b>Situação (2ª Coleta )</b>
B1	PD	26°52'23.7"S	52°57'27.3"O	Soja em pé	Gramínea dessecada
B2	ILP	26°52'29.3"S	52°57'39.6"O	Soja colhida	Azevém
B3	FN	26°52'29.3"S	52°57'33.4"O	Degradado	Degradado
B4	PD	26°52'29.2"S	52°57'27.5"O	Soja colhida	Gramínea dessecada
B5	PD	26°52'29.2"S	52°57'21.5"O	Soja em pé	Gramínea dessecada
B6	PD	26°52'30.2"S	52°57'15.0"O	Soja em pé	Gramínea dessecada
B7	PA	26°52'34.7"S	52°57'39.7"O	Campo introduzido	Campo introduzido
B8	PE	26°52'34.5"S	52°57'33.5"O	Eucaliptos em pé	Eucaliptos em pé
B9	PD	26°52'34.5"S	52°57'27.5"O	Soja em pé	Aveia
B10	PD	26°52'34.7"S	52°57'21.5"O	Soja em pé	Aveia
B11	PD	26°52'34.5"S	52°57'15.5"O	Eucaliptos em pé	Gramínea dessecada
B12	PA	26°52'39.7"S	52°57'46.0"O	Campo nativo	Degradado
B13	PA	26°52'40.0"S	52°57'39.6"O	Campo nativo	Campo nativo
B14	PA	26°52'40.0"S	52°57'33.5"O	Campo introduzido	Campo introduzido
B15	PD	26°52'39.8"S	52°57'27.5"O	Soja em pé	Aveia
B16	FN	26°52'39.4"S	52°57'21.5"O	Conservado	Conservado
B17	PD	26°52'39.9"S	52°57'15.5"O	Soja em pé	Gramínea dessecada
B18	PD	26°52'39.8"S	52°57'09.5"O	Soja em pé	Azevem
B19	PA	26°52'45.4"S	52°57'39.7"O	Campo nativo	Campo nativo
B20	FN	26°52'45.7"S	52°57'33.5"O	Conservado	Conservado
B21	FN	26°52'45.7"S	52°57'27.3"O	Conservado	Conservado
B22	FN	26°52'45.2"S	52°57'45.5"O	Degradado	Degradado
B23	FN	26°52'45.3"S	52°57'15.4"O	Conservado	Conservado
B24	PD	26°52'50.7"S	52°57'39.6"O	Soja em pé	Azevem
B25	PA	26°52'50.7"S	52°57'33.6"O	Campo nativo	Campo nativo
B26	PD	26°52'50.6"S	52°57'27.6"O	Soja em pé	Aveia
B27	PD	26°52'50.6"S	52°57'21.6"O	Soja em pé	Aveia
B28	PD	26°52'50.7"S	52°57'15.6"O	Soja em pé	Aveia
B29	PD	26°52'56.0"S	52°57'27.5"O	Soja em pé	Aveia

APÊNDICE B3 – Coordenada geográfica (CG) e condição da vegetação nas amostras dos sistemas de uso do solo (SUS) de floresta nativa (FN), plantio de eucalipto (PE), pastagem (PA), capoeira (CP), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), na janela da paisagem em São Miguel do Oeste.

<b>Amostra</b>	<b>SUS</b>	<b>CG Sul</b>	<b>CG Oeste</b>	<b>Situação (1ª Coleta)</b>	<b>Situação (2ª Coleta)</b>
C1	PA	26°44'20.6"S	53°32'32.1"O	Campo nativo	Campo nativo
C2	ILP	26°44'21.0"S	53°32'25.9"O	Milho em pé	Pousio
C3	PD	26°44'20.9"S	53°32'19.9"O	Soja colhida	Azevem
C4	FN	26°44'26.3"S	53°32'25.9"O	Degradado	Degradado
C5	ILP	26°44'26.1"S	53°32'20.0"O	Milho colhido	Azevém
C6	PD	26°44'26.3"S	53°32'13.8"O	Feijão em pé	Azevem
C7	PD	26°44'31.6"S	53°32'32.0"O	Soja colhida	Trigo
C8	FN	26°44'32.0"S	53°32'25.9"O	Degradado	Degradado
C9	FN	26°44'31.2"S	53°32'20.0"O	Degradado	Degradado
C10	PD	26°44'31.5"S	53°32'14.0"O	Soja colhida	Aveia
C11	PD	26°44'31.6"S	53°32'08.0"O	Feijão em pé	Aveia
C12	PD	26°44'37.2"S	53°32'38.0"O	Milho em pé	Pousio
C13	PD	26°44'36.9"S	53°32'32.1"O	Soja colhida	Trigo
C14	PD	26°44'37.1"S	53°32'25.9"O	Milho em pé	Milho em pé
C15	PA	26°44'37.1"S	53°32'20.0"O	Campo nativo	Campo nativo
C16	PD	26°44'37.2"S	53°32'14.0"O	Feijão colhido	Azevém dessecado
C17	PD	26°44'42.3"S	53°32'38.1"O	Milho em pé	Aveia
C18	FN	26°44'42.5"S	53°32'32.5"O	Conservado	Conservado
C19	PD	26°44'42.0"S	53°32'25.6"O	Milho em pé	Pousio
C20	PA	26°44'41.8"S	53°32'19.2"O	Campo introduzido	Campo introduzido
C21	CP	26°44'48.1"S	53°32'37.7"O	--	
C22	PD	26°44'21.3"S	53°32'14.5"O	Soja Colhida	Pousio
C23	PD	26°44'47.5"S	53°32'31.9"O	Soja Colhida	Pousio
C24	PA	26°44'20.8"S	53°32'08.0"O	Campo nativo	Campo nativo
C25	PD	26°44'15.6"S	53°32'14.1"O	Soja colhida	Nabo, trigo e aveia
C26	PD	26°44'15.5"S	53°32'08.0"O	Soja Colhida	Nabo, trigo e aveia
C27	FN	26°44'15.5"S	53°32'02.3"O	Conservado	Conservado
C28	PE	26°44'37.2"S	53°32'07.9"O	Eucaliptos em pé	Eucaliptos em pé
C29	FN	26°44'20.7"S	53°32'02.3"O	Degradado	Degradado

APÊNDICE B4 – Média  $\pm$  Desvio padrão das variáveis do solo e serapilheira por sistema de uso do solo, floresta nativa (FN), plantio de eucalipto (PE), pastagem (PA), capoeira (CP), integração lavoura-pecuária (ILP), plantio direto (PD), das duas coletas nas paisagens do Oeste de Santa Catarina. (Continua)

Variável	CP	FN	ILP	PA	PD	PE
<b>Primeira Coleta</b>						
<b>PS-Lit</b> (g/m <sup>2</sup> )	774,33 $\pm$ 379,28	1051,29 $\pm$ 515,04	615,72 $\pm$ 97,46	249,65 $\pm$ 136,93	537,01 $\pm$ 282,07	1065,15 $\pm$ 293,91
<b>C-Lit</b> (%)	38,90 $\pm$ 2,10	38,95 $\pm$ 3,72	39,55 $\pm$ 2,65	36,91 $\pm$ 3,54	36,15 $\pm$ 3,38	42,35 $\pm$ 1,73
<b>N-Lit</b> (%)	1,58 $\pm$ 0,06	2,30 $\pm$ 0,27	1,67 $\pm$ 0,44	1,91 $\pm$ 0,22	2,06 $\pm$ 0,30	1,62 $\pm$ 0,04
<b>Micro</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,32 $\pm$ 0,07	0,37 $\pm$ 0,03	0,35 $\pm$ 0,01	0,40 $\pm$ 0,04	0,36 $\pm$ 0,02	0,38 $\pm$ 0,05
<b>Macro</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,11 $\pm$ 0,02	0,20 $\pm$ 0,08	0,13 $\pm$ 0,04	0,08 $\pm$ 0,02	0,12 $\pm$ 0,04	0,11 $\pm$ 0,04
<b>Bio</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,08 $\pm$ 0,02	0,13 $\pm$ 0,06	0,10 $\pm$ 0,02	0,05 $\pm$ 0,02	0,08 $\pm$ 0,03	0,06 $\pm$ 0,02
<b>CHS</b> (mm h <sup>-1</sup> )	42,38 $\pm$ 42,17	697,69 $\pm$ 311,74	167,19 $\pm$ 141,47	252,61 $\pm$ 255,63	126,80 $\pm$ 115,18	161,12 $\pm$ 140,44
<b>PT</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,42 $\pm$ 0,05	0,56 $\pm$ 0,06	0,49 $\pm$ 0,04	0,47 $\pm$ 0,04	0,48 $\pm$ 0,04	0,49 $\pm$ 0,03
<b>Ea</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,16 $\pm$ 0,04	0,27 $\pm$ 0,09	0,20 $\pm$ 0,04	0,14 $\pm$ 0,04	0,19 $\pm$ 0,05	0,19 $\pm$ 0,08
<b>DS</b> (g cm <sup>-3</sup> )	1,43 $\pm$ 0,06	1,02 $\pm$ 0,19	1,26 $\pm$ 0,14	1,28 $\pm$ 0,12	1,27 $\pm$ 0,10	1,24 $\pm$ 0,10
<b>Umi-V</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,27 $\pm$ 0,09	0,30 $\pm$ 0,05	0,28 $\pm$ 0,02	0,33 $\pm$ 0,05	0,29 $\pm$ 0,03	0,30 $\pm$ 0,07
<b>Umi-H</b> (%)	20,35 $\pm$ 1,65	15,39 $\pm$ 4,64	20,67 $\pm$ 6,08	23,31 $\pm$ 4,79	21,36 $\pm$ 4,78	12,10 $\pm$ 1,20
<b>RPen</b> (KPa)	1426,06 $\pm$ 119,61	1192,04 $\pm$ 538,16	1681,49 $\pm$ 699,09	1618,90 $\pm$ 456,76	1650,50 $\pm$ 592,17	1391,42 $\pm$ 262,89
<b>RPenB</b> (MPa)	3,81 $\pm$ 0,78	1,62 $\pm$ 0,97	2,44 $\pm$ 1,14	3,96 $\pm$ 0,59	2,68 $\pm$ 1,09	2,60 $\pm$ 0,71
<b>RMic</b> (mg C-CO <sub>2</sub> Kg <sup>-1</sup> solo h <sup>-1</sup> )	1,01 $\pm$ 0,14	1,27 $\pm$ 0,20	1,01 $\pm$ 0,11	1,12 $\pm$ 0,17	1,03 $\pm$ 0,12	1,09 $\pm$ 0,15
<b>CMic</b> (mg Kg <sup>-1</sup> )	177,29 $\pm$ 29,82	236,53 $\pm$ 75,68	162,94 $\pm$ 53,53	191,41 $\pm$ 56,14	198,37 $\pm$ 66,71	158,04 $\pm$ 25,18
<b>C-Solo</b> (%)	4,11 $\pm$ 1,32	5,01 $\pm$ 2,36	4,32 $\pm$ 0,71	5,34 $\pm$ 0,95	4,06 $\pm$ 0,47	4,33 $\pm$ 0,68
<b>N-Solo</b> (%)	0,25 $\pm$ 0,08	0,44 $\pm$ 0,12	0,26 $\pm$ 0,06	0,39 $\pm$ 0,10	0,26 $\pm$ 0,09	0,26 $\pm$ 0,03

APÊNDICE B4 – Média  $\pm$  Desvio padrão das variáveis do solo e serapilheira por sistema de uso do solo, floresta nativa (FN), plantio de eucalipto (PE), pastagem (PA), capoeira (CP), integração lavoura-pecuária (ILP), plantio direto (PD), das duas coletas nas paisagens do Oeste de Santa Catarina. (Continuação)

Variável	CP	FN	ILP	PA	PD	PE
	Segunda Coleta					
<b>PS-Lit</b> (g/m <sup>2</sup> )	779,08± 337,30	1298,62± 493,10	292,30± 18,19	280,30± 149,65	341,16± 116,97	1222,48± 165,07
<b>C-Lit</b> (%)	41,45±7,85	38,84±2,30	31,60±4,63	33,94±3,16	33,50±3,63	43,48±0,59
<b>N-Lit</b> (%)	0,70±0,02	1,14±0,14	0,83±0,15	0,80±0,09	0,88±0,10	0,72±0,06
<b>Micro</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,47±0,03	0,48±0,03	0,46±0,01	0,51±0,04	0,47±0,02	0,48±0,01
<b>Macro</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,08±0,02	0,17±0,05	0,10±0,04	0,07±0,03	0,15±0,09	0,09±0,03
<b>Bio</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,05±0,02	0,08±0,02	0,05±0,02	0,04±0,01	0,05±0,01	0,03±0,01
<b>CHS</b> (mm h <sup>-1</sup> )	25,58± 14,88	227,09± 148,86	42,10± 47,21	38,42± 40,58	61,43± 74,67	11,58± 12,45
<b>PT</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,56±0,06	0,66±0,04	0,56±0,03	0,58±0,04	0,57±0,02	0,57±0,02
<b>Ea</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,12±0,05	0,27±0,08	0,17±0,08	0,12±0,04	0,16±0,04	0,21±0,09
<b>DS</b> (g cm <sup>-3</sup> )	1,30±0,22	1,00±0,15	1,31±0,13	1,25±0,10	1,26±0,09	1,21±0,08
<b>Uni-V</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,43±0,00	0,39±0,06	0,39±0,04	0,46±0,05	0,41±0,03	0,36±0,07
<b>RPen</b> (KPa)	1890,45± 328,15	985,73± 358,01	1494,60± 533,80	1375,97± 505,17	1399,94± 412,74	1833,14± 373,08
<b>RPenB</b> (MPa)	2,90±0,60	1,98±0,91	3,70±1,36	3,85±1,13	2,89±1,09	2,44±0,51
<b>RMic</b> (mg C-CO <sup>2</sup> Kg <sup>-1</sup> solo h <sup>-1</sup> )	1,41±0,64	1,67±0,51	1,01±0,15	1,44±0,32	1,20±0,19	1,37±0,30
<b>CMic</b> (mg Kg <sup>-1</sup> )	193,85± 24,02	229,63± 62,66	201,79± 43,20	208,62± 118,90	158,88± 46,78	114,19± 44,54
<b>C-Solo</b> (%)	3,30±1,06	5,77±1,80	3,51±0,53	4,38±1,04	3,24±0,37	3,41±0,43
<b>N-Solo</b> (%)	0,21±0,08	0,42±0,13	0,23±0,04	0,29±0,06	0,21±0,02	0,22±0,05
<b>DMP*</b> (mm)	5,49±0,43	5,52±0,42	5,40±0,72	5,40±0,46	5,59±0,63	5,09±0,83
<b>pH*</b>	5,80±0,20	5,51±0,61	5,70±0,37	5,54±0,40	5,70±0,42	4,75±0,35

APÊNDICE B4 – Média  $\pm$  Desvio padrão das variáveis do solo e serapilheira por sistema de uso do solo, floresta nativa (FN), plantio de eucalipto (PE), pastagem (PA), capoeira (CP), integração lavoura-pecuária (ILP), plantio direto (PD), das duas coletas nas paisagens do Oeste de Santa Catarina. (Conclusão)

Variável	CP	FN	ILP	PA	PD	PE
<b>pH SMP*</b>	6,00 $\pm$ 0,10	5,87 $\pm$ 0,47	6,00 $\pm$ 0,30	5,81 $\pm$ 0,31	6,05 $\pm$ 0,27	5,33 $\pm$ 0,41
<b>Ca*</b> (cmol/dm <sup>3</sup> )	7,63 $\pm$ 2,01	7,35 $\pm$ 3,18	5,43 $\pm$ 0,91	6,07 $\pm$ 2,12	5,44 $\pm$ 1,43	3,76 $\pm$ 2,81
<b>Mg*</b> (cmol/dm <sup>3</sup> )	3,01 $\pm$ 0,41	2,20 $\pm$ 0,87	2,48 $\pm$ 0,52	3,03 $\pm$ 1,27	2,21 $\pm$ 0,62	1,96 $\pm$ 0,80
<b>Al*</b> (cmol/dm <sup>3</sup> )	0,12 $\pm$ 0,03	0,76 $\pm$ 0,93	0,26 $\pm$ 0,17	0,55 $\pm$ 0,67	0,25 $\pm$ 0,21	1,65 $\pm$ 1,55
<b>H+Al*</b> (cmol/dm <sup>3</sup> )	4,40 $\pm$ 0,50	6,42 $\pm$ 3,89	4,65 $\pm$ 1,55	6,14 $\pm$ 2,33	4,46 $\pm$ 1,33	11,43 $\pm$ 6,49
<b>Bases*</b> (%)	72,06 $\pm$ 1,40	61,61 $\pm$ 22,05	64,57 $\pm$ 12,56	61,06 $\pm$ 15,56	64,21 $\pm$ 10,37	39,17 $\pm$ 18,28
<b>MO*</b> (%)	3,60 $\pm$ 1,30	4,71 $\pm$ 0,98	3,65 $\pm$ 0,57	3,66 $\pm$ 0,93	3,10 $\pm$ 0,35	2,95 $\pm$ 0,55
<b>CO*</b> (%)	2,09 $\pm$ 0,76	2,73 $\pm$ 0,57	2,12 $\pm$ 0,33	2,13 $\pm$ 0,54	1,80 $\pm$ 0,20	1,71 $\pm$ 0,32
<b>Argila*</b> (%)	33,50 $\pm$ 14,50	26,68 $\pm$ 9,00	43,00 $\pm$ 9,67	34,64 $\pm$ 13,83	45,86 $\pm$ 10,95	46,25 $\pm$ 21,25
<b>P*</b> (mg dm <sup>-3</sup> )	4,50 $\pm$ 2,10	3,26 $\pm$ 1,96	34,93 $\pm$ 29,1 8	21,69 $\pm$ 20,4 8	23,38 $\pm$ 20,9 7	37,25 $\pm$ 40,8 8
<b>K*</b> (mg dm <sup>-3</sup> )	330,00 $\pm$ 130,00	217,74 $\pm$ 102,14	263,50 $\pm$ 183,17	349,14 $\pm$ 110,27	218,05 $\pm$ 107,96	260,25 $\pm$ 209,75
<b>CTC*</b> (cmol/dm <sup>3</sup> )	15,88 $\pm$ 2,58	16,53 $\pm$ 2,03	13,23 $\pm$ 0,60	16,14 $\pm$ 2,23	12,66 $\pm$ 1,64	17,81 $\pm$ 5,81

Atributos mensurados em uma única amostragem (\*); densidade do solo (DS); porosidade total (PT); microporosidade (Micro); macroporosidade (Macro); bioporos (Bio); espaço de aeração (Ea); umidade volumétrica (Umi-V); resistência a penetração de bancada (RPenB); condutividade hidráulica saturada (CHS); resistência do solo à penetração à campo (RPen); umidade do solo no campo (Umi-H); potencial hidrogeniônico (pH); pH em solução SMP (pH SMP); acidez potencial (H+Al); fósforo (P), potássio (K); matéria orgânica (MO); alumínio (Al); cálcio (Ca); magnésio (Mg); capacidade de troca de cátions (CTC); carbono orgânico (CO); soma de bases (Bases); carbono total do solo (C-Solo); o nitrogênio total do solo (N-Solo); carbono da biomassa microbiana (C-Mic), respiração basal microbiana (R-Mic); peso seco da liteira (PS-Lit); carbono total da liteira (C-Lit); nitrogênio total da liteira (N-Lit).

APÊNDICE B5 – Média  $\pm$  Desvio padrão da abundância dos grupos taxonômicos da fauna do solo, coletados por sistema de uso do solo na primeira coleta, nas paisagens do Oeste de Santa Catarina.

Taxon	Sistema de Uso do Solo					
	CP	FN	ILP	PA	PD	PE
<b>Acari</b>	4,00 $\pm$ 4,00	5,21 $\pm$ 3,72	16,83 $\pm$ 15,06	12,64 $\pm$ 10,49	17,36 $\pm$ 14,11	15,25 $\pm$ 9,75
<b>Araneae</b>	4,50 $\pm$ 1,50	4,68 $\pm$ 2,90	0,83 $\pm$ 0,56	3,43 $\pm$ 2,41	2,14 $\pm$ 1,36	3,00 $\pm$ 2,50
<b>Blattaria</b>	0,50 $\pm$ 0,50	0,84 $\pm$ 0,98	0,00 $\pm$ 0,00	0,21 $\pm$ 0,34	0,12 $\pm$ 0,22	0,00 $\pm$ 0,00
<b>Chilopoda</b>	0,00 $\pm$ 0,00	1,05 $\pm$ 1,24	0,33 $\pm$ 0,44	0,00 $\pm$ 0,00	0,38 $\pm$ 0,56	0,00 $\pm$ 0,00
<b>Coleoptera</b>	1,50 $\pm$ 0,50	13,16 $\pm$ 11,27	2,00 $\pm$ 2,00	5,07 $\pm$ 4,67	2,69 $\pm$ 2,38	5,25 $\pm$ 4,25
<b>Collembola</b>	88,50 $\pm$ 26,50	27,58 $\pm$ 18,79	6,17 $\pm$ 5,89	173,93 $\pm$ 245,15	34,07 $\pm$ 27,82	16,25 $\pm$ 10,25
<b>Dermaptera</b>	0,00 $\pm$ 0,00	0,21 $\pm$ 0,33	0,17 $\pm$ 0,28	0,14 $\pm$ 0,24	0,52 $\pm$ 0,72	0,25 $\pm$ 0,38
<b>Diplopoda</b>	0,00 $\pm$ 0,00	0,58 $\pm$ 0,67	0,33 $\pm$ 0,44	0,29 $\pm$ 0,53	0,26 $\pm$ 0,45	1,00 $\pm$ 1,00
<b>Diptera</b>	5,50 $\pm$ 1,50	20,11 $\pm$ 12,33	5,67 $\pm$ 3,67	2,07 $\pm$ 1,53	4,88 $\pm$ 2,76	10,75 $\pm$ 9,13
<b>Gastropoda</b>	0,00 $\pm$ 0,00	0,05 $\pm$ 0,10	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,19 $\pm$ 0,34	0,00 $\pm$ 0,00
<b>Hemiptera</b>	6,50 $\pm$ 6,50	1,89 $\pm$ 1,75	1,33 $\pm$ 1,78	6,21 $\pm$ 4,53	2,45 $\pm$ 2,09	2,00 $\pm$ 0,50
<b>Hirudinea</b>	0,00 $\pm$ 0,00	0,11 $\pm$ 0,20	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00
<b>Hymenoptera</b>	45,50 $\pm$ 33,50	34,47 $\pm$ 17,34	6,83 $\pm$ 6,11	57,43 $\pm$ 26,43	23,05 $\pm$ 21,74	26,00 $\pm$ 8,50
<b>Isopoda</b>	2,50 $\pm$ 1,50	1,42 $\pm$ 1,66	0,17 $\pm$ 0,28	0,93 $\pm$ 1,33	0,07 $\pm$ 0,14	7,00 $\pm$ 9,50
<b>Isoptera</b>	5,00 $\pm$ 5,00	6,84 $\pm$ 11,91	0,00 $\pm$ 0,00	6,36 $\pm$ 9,99	0,00 $\pm$ 0,00	0,75 $\pm$ 1,13
<b>Larva Col.</b>	2,00 $\pm$ 0,00	2,84 $\pm$ 2,75	0,50 $\pm$ 0,67	1,00 $\pm$ 1,00	3,40 $\pm$ 3,42	1,75 $\pm$ 1,25
<b>Larva Dip.</b>	0,50 $\pm$ 0,50	10,63 $\pm$ 19,30	0,00 $\pm$ 0,00	0,29 $\pm$ 0,45	0,21 $\pm$ 0,37	0,00 $\pm$ 0,00
<b>Larva Hym.</b>	0,00 $\pm$ 0,00	0,11 $\pm$ 0,20	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,50 $\pm$ 0,75
<b>Larva Lep.</b>	0,50 $\pm$ 0,50	0,21 $\pm$ 0,38	0,17 $\pm$ 0,28	0,29 $\pm$ 0,45	0,14 $\pm$ 0,26	0,00 $\pm$ 0,00
<b>Lepidoptera</b>	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,10 $\pm$ 0,18	0,00 $\pm$ 0,00
<b>Oligochaeta</b>	0,00 $\pm$ 0,00	0,79 $\pm$ 1,00	1,83 $\pm$ 2,11	0,71 $\pm$ 0,82	0,83 $\pm$ 1,19	1,00 $\pm$ 0,50
<b>Opiliones</b>	0,00 $\pm$ 0,00	1,89 $\pm$ 3,39	0,00 $\pm$ 0,00	0,36 $\pm$ 0,61	0,02 $\pm$ 0,05	0,00 $\pm$ 0,00
<b>Orthoptera</b>	2,50 $\pm$ 2,50	1,63 $\pm$ 1,81	0,67 $\pm$ 0,89	0,86 $\pm$ 0,86	1,21 $\pm$ 1,23	0,25 $\pm$ 0,38
<b>Outro*</b>	0,00 $\pm$ 0,00	0,05 $\pm$ 0,10	0,00 $\pm$ 0,00	0,07 $\pm$ 0,13	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00
<b>Symphyla</b>	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,05	0,00 $\pm$ 0,00
<b>Thysanoptera</b>	0,00 $\pm$ 0,00	0,21 $\pm$ 0,35	0,33 $\pm$ 0,56	0,57 $\pm$ 0,82	0,24 $\pm$ 0,39	4,25 $\pm$ 6,38

Indivíduos não identificados (\*); Coleoptera (Col.); Diptera (Dip.); Hymenoptera (Hym.); Lepidoptera (Lep.).

APÊNDICE B6 – Média  $\pm$  Desvio padrão da abundância dos grupos taxonômicos da fauna do solo, coletados por sistema de uso do solo na segunda coleta, nas paisagens do Oeste de Santa Catarina.

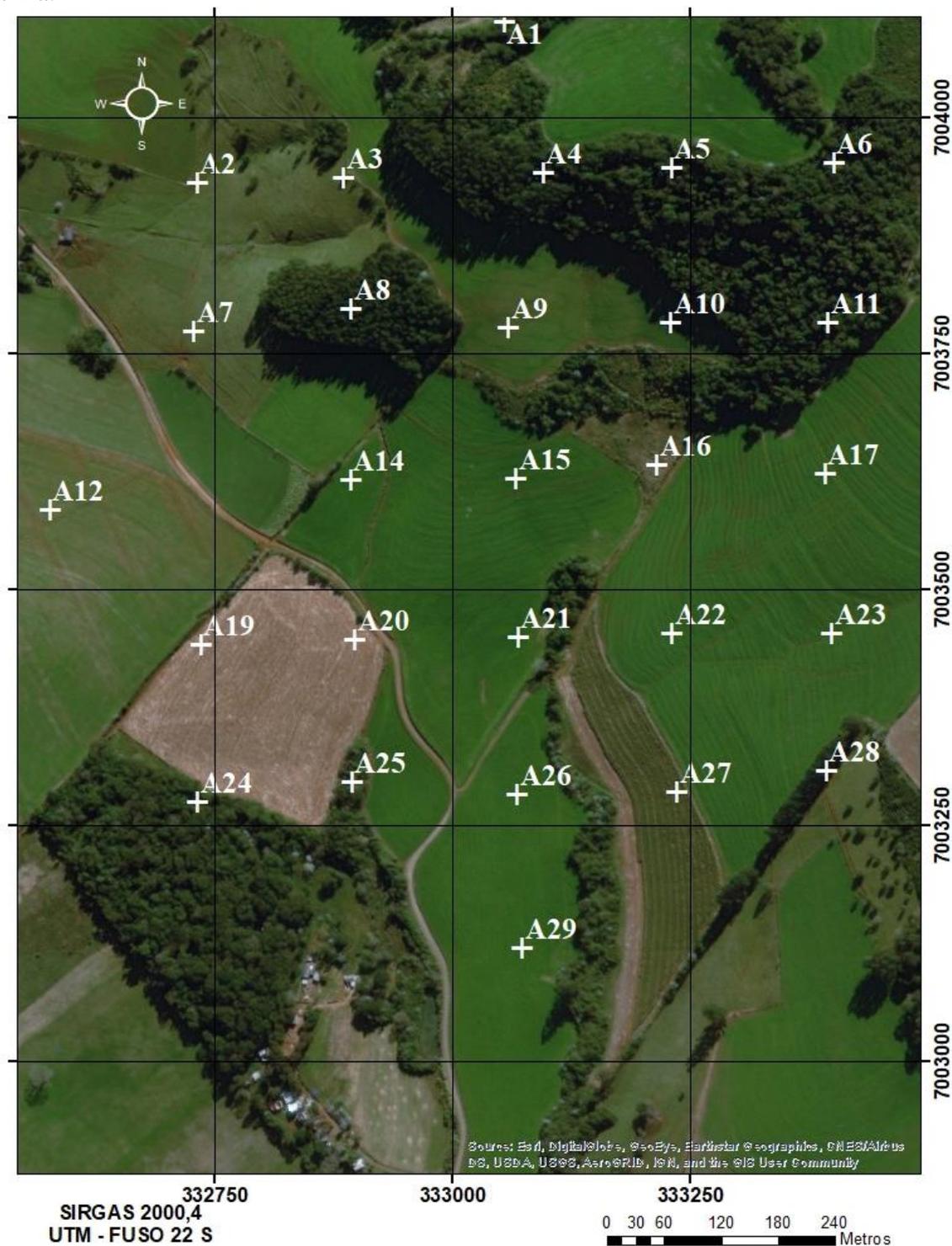
Taxon	Sistema de Uso do Solo					
	CP	FN	ILP	PA	PD	PE
<b>Acari</b>	5,50 $\pm$ 5,50	5,95 $\pm$ 4,46	14,50 $\pm$ 12,67	11,21 $\pm$ 8,70	13,50 $\pm$ 11,69	2,00 $\pm$ 0,50
<b>Araneae</b>	1,00 $\pm$ 0,00	2,79 $\pm$ 2,39	0,33 $\pm$ 0,44	3,43 $\pm$ 2,57	0,79 $\pm$ 0,86	5,00 $\pm$ 3,50
<b>Blattodea</b>	0,00 $\pm$ 0,00	0,42 $\pm$ 0,66	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,14 $\pm$ 0,24	0,00 $\pm$ 0,00
<b>Chilopoda</b>	0,00 $\pm$ 0,00	1,37 $\pm$ 1,34	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,57 $\pm$ 0,71	0,50 $\pm$ 0,75
<b>Coleoptera</b>	6,00 $\pm$ 5,00	3,79 $\pm$ 3,44	2,50 $\pm$ 1,83	4,21 $\pm$ 3,21	2,67 $\pm$ 2,37	2,75 $\pm$ 2,13
<b>Collembola</b>	54,00 $\pm$ 14,00	86,37 $\pm$ 101,46	59,67 $\pm$ 33,33	1494,6 $\pm$ 2396,6	66,98 $\pm$ 76,91	17,00 $\pm$ 11,00
<b>Dermaptera</b>	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,36 $\pm$ 0,54	0,00 $\pm$ 0,00
<b>Diplopoda</b>	0,00 $\pm$ 0,00	0,95 $\pm$ 1,10	0,50 $\pm$ 0,83	0,36 $\pm$ 0,56	0,88 $\pm$ 1,05	0,75 $\pm$ 0,75
<b>Diplura</b>	0,00 $\pm$ 0,00	0,16 $\pm$ 0,28	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00
<b>Diptera</b>	5,00 $\pm$ 1,00	10,32 $\pm$ 10,50	11,00 $\pm$ 8,00	8,86 $\pm$ 6,82	6,07 $\pm$ 4,43	6,50 $\pm$ 5,75
<b>Gastropoda</b>	0,00 $\pm$ 0,00	0,05 $\pm$ 0,10	0,33 $\pm$ 0,56	0,00 $\pm$ 0,00	0,05 $\pm$ 0,09	0,00 $\pm$ 0,00
<b>Hemiptera</b>	3,00 $\pm$ 2,00	1,21 $\pm$ 1,47	1,00 $\pm$ 0,67	5,71 $\pm$ 3,53	2,62 $\pm$ 3,65	2,00 $\pm$ 1,50
<b>Hymenoptera</b>	112,00 $\pm$ 104,00	21,37 $\pm$ 20,62	13,33 $\pm$ 10,44	33,93 $\pm$ 14,62	16,33 $\pm$ 18,37	25,50 $\pm$ 15,00
<b>Isopoda</b>	1,00 $\pm$ 1,00	0,84 $\pm$ 1,06	0,00 $\pm$ 0,00	0,43 $\pm$ 0,61	0,10 $\pm$ 0,18	6,50 $\pm$ 7,25
<b>Isoptera</b>	0,00 $\pm$ 0,00	8,21 $\pm$ 14,17	0,00 $\pm$ 0,00	2,86 $\pm$ 4,90	0,19 $\pm$ 0,36	11,75 $\pm$ 17,63
<b>Larva Col.</b>	1,00 $\pm$ 1,00	2,00 $\pm$ 1,58	1,00 $\pm$ 1,00	2,93 $\pm$ 2,20	1,14 $\pm$ 1,12	2,25 $\pm$ 1,38
<b>Larva Dip.</b>	0,00 $\pm$ 0,00	1,05 $\pm$ 0,93	0,17 $\pm$ 0,28	0,36 $\pm$ 0,51	0,31 $\pm$ 0,50	0,00 $\pm$ 0,00
<b>Larva Lep.</b>	0,00 $\pm$ 0,00	0,21 $\pm$ 0,35	0,00 $\pm$ 0,00	0,29 $\pm$ 0,45	0,17 $\pm$ 0,29	0,25 $\pm$ 0,38
<b>Larva Neu.</b>	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,05	0,00 $\pm$ 0,00
<b>Oligochaeta</b>	0,00 $\pm$ 0,00	1,32 $\pm$ 1,27	1,17 $\pm$ 1,28	3,00 $\pm$ 3,86	2,67 $\pm$ 3,22	1,75 $\pm$ 1,25
<b>Orthoptera</b>	0,50 $\pm$ 0,50	1,95 $\pm$ 3,06	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,07 $\pm$ 0,14	0,00 $\pm$ 0,00
<b>Outro</b>	0,00 $\pm$ 0,00	0,26 $\pm$ 0,47	0,00 $\pm$ 0,00	0,14 $\pm$ 0,24	0,00 $\pm$ 0,00	0,25 $\pm$ 0,38
<b>Pseudosc.</b>	0,00 $\pm$ 0,00	0,16 $\pm$ 0,28	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00
<b>Psocoptera</b>	0,00 $\pm$ 0,00	0,05 $\pm$ 0,10	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00
<b>Symphyla</b>	0,00 $\pm$ 0,00	0,16 $\pm$ 0,28	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,12 $\pm$ 0,22	0,00 $\pm$ 0,00
<b>Thysanoptera</b>	0,00 $\pm$ 0,00	0,11 $\pm$ 0,19	0,17 $\pm$ 0,28	0,29 $\pm$ 0,45	0,12 $\pm$ 0,21	0,50 $\pm$ 0,50

Indivíduos não identificados (\*); Coleoptera (Col.); Diptera (Dip.); Neuroptera (Neu.); Lepidoptera (Lep.); Pseudoscorpione (Pseudosc.).



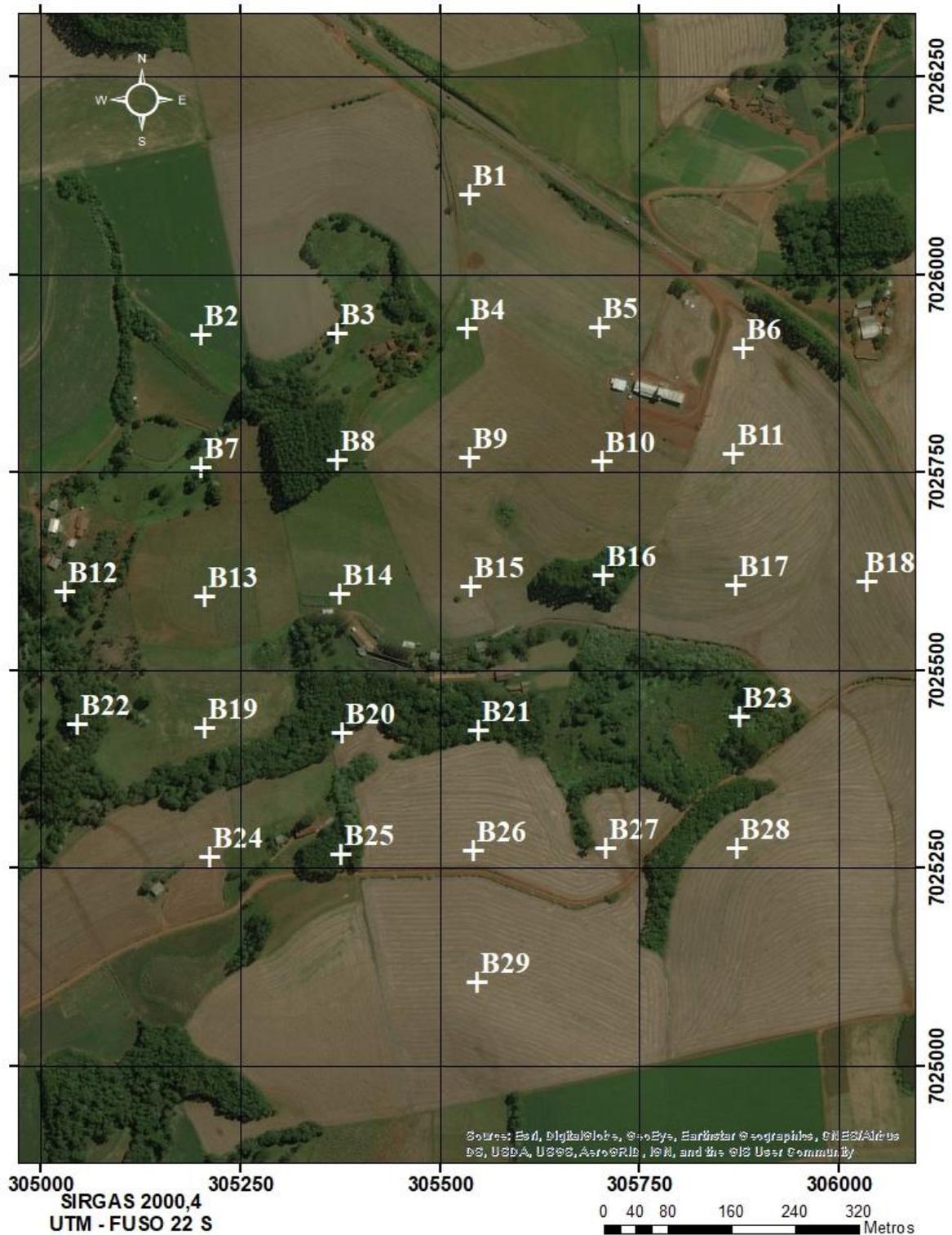
## ANEXOS

ANEXO A – Distribuição dos pontos amostrados na janela da paisagem em Chapecó, Santa Catarina.



Fonte: ALEXANDRE, D. **Fragmentação da paisagem e estrutura da comunidade de invertebrados edáficos**. 2019. 166 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2019.

ANEXO B - Distribuição dos pontos amostrados na janela da paisagem em Pinhalzinho, Santa Catarina.



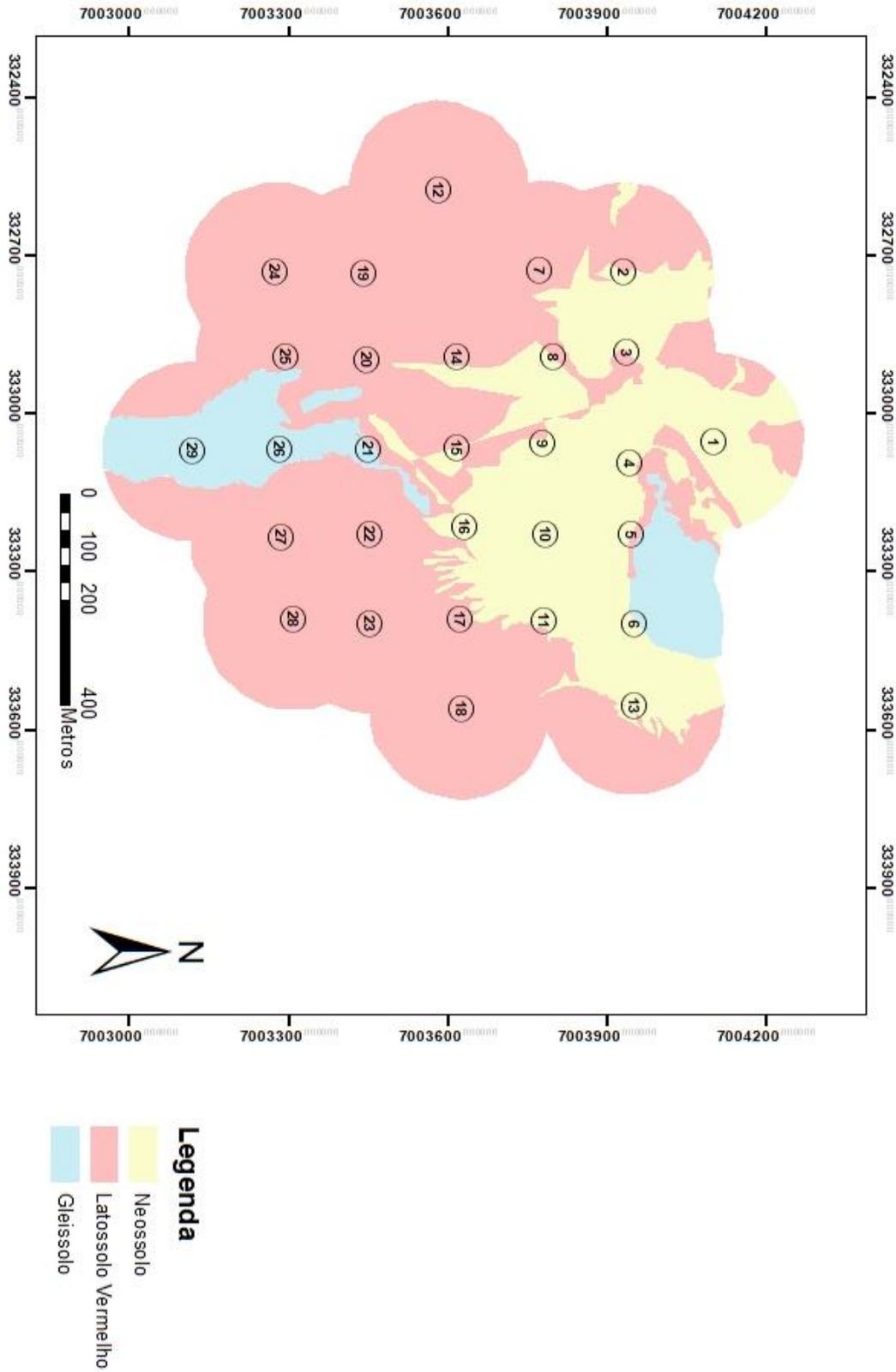
Fonte: ALEXANDRE, D. **Fragmentação da paisagem e estrutura da comunidade de invertebrados edáficos**. 2019. 166 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2019.

ANEXO C - Distribuição dos pontos amostrados na janela da paisagem em São Miguel do Oeste, Santa Catarina.



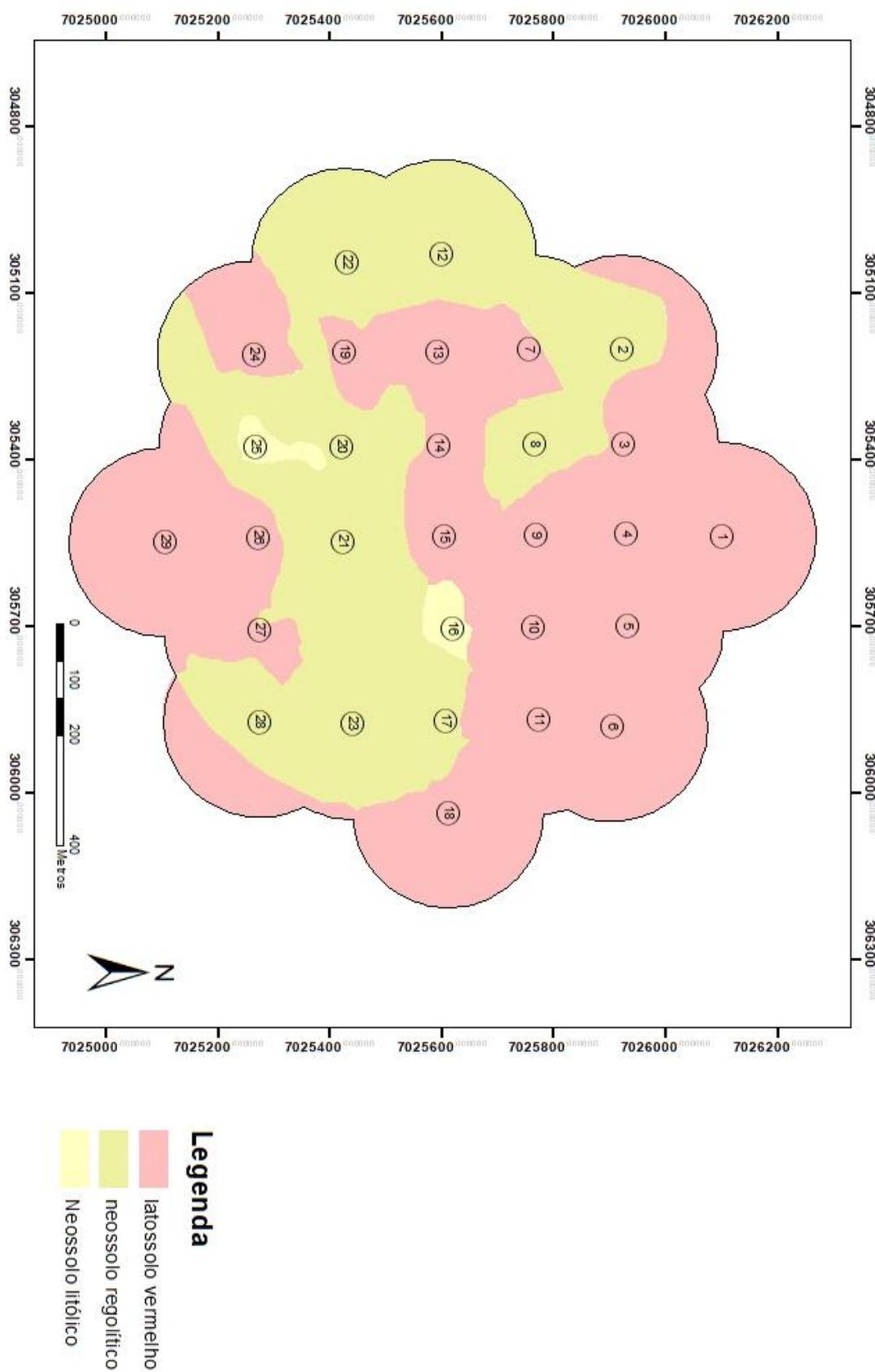
Fonte: ALEXANDRE, D. **Fragmentação da paisagem e estrutura da comunidade de invertebrados edáficos**. 2019. 166 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2019.

ANEXO D - Mapa das classes de solo na janela da paisagem de Chapecó, Santa Catarina.



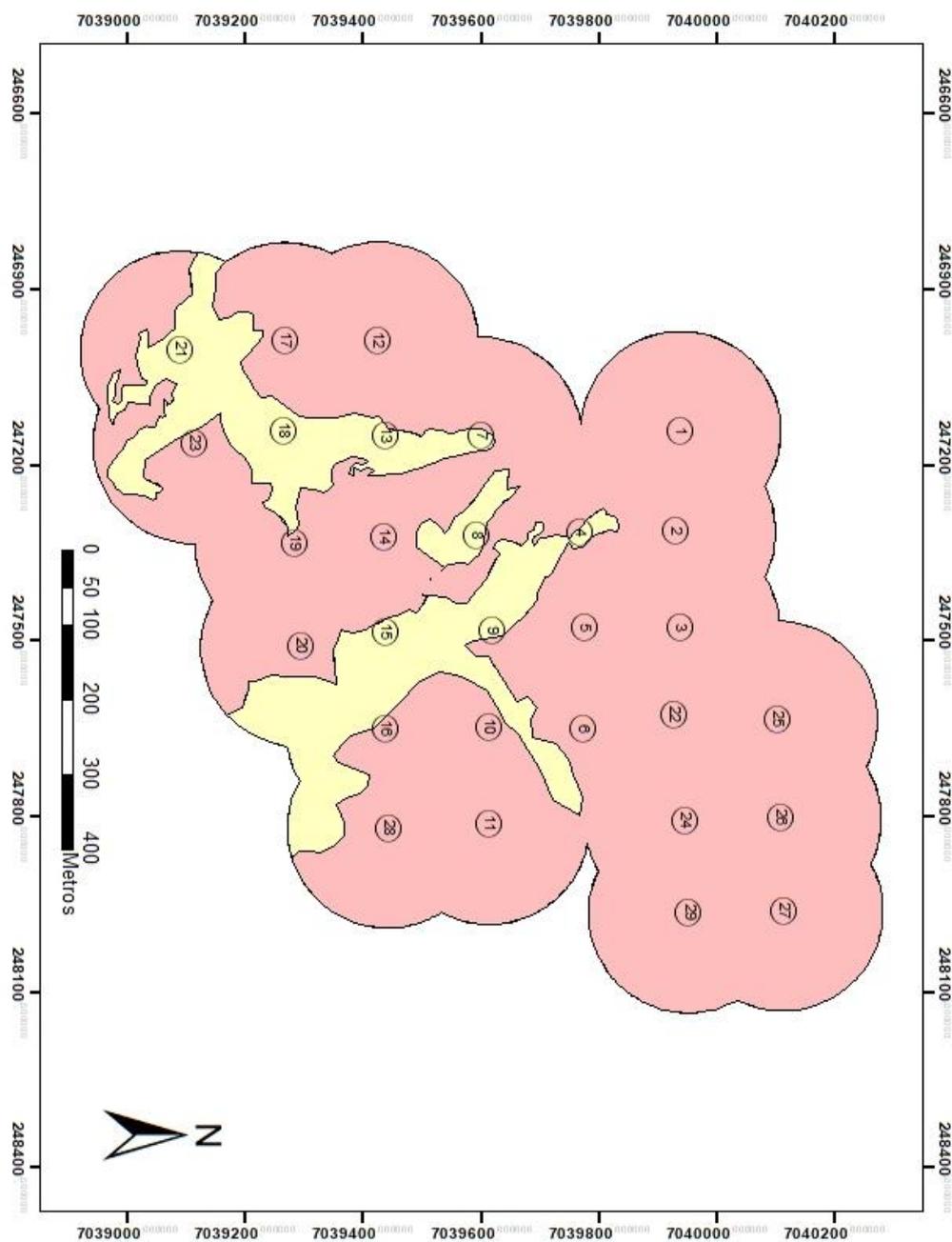
Fonte: Müller, 2019.

ANEXO E - Mapa das classes de solo na janela da paisagem de Pinhalzinho, Santa Catarina.

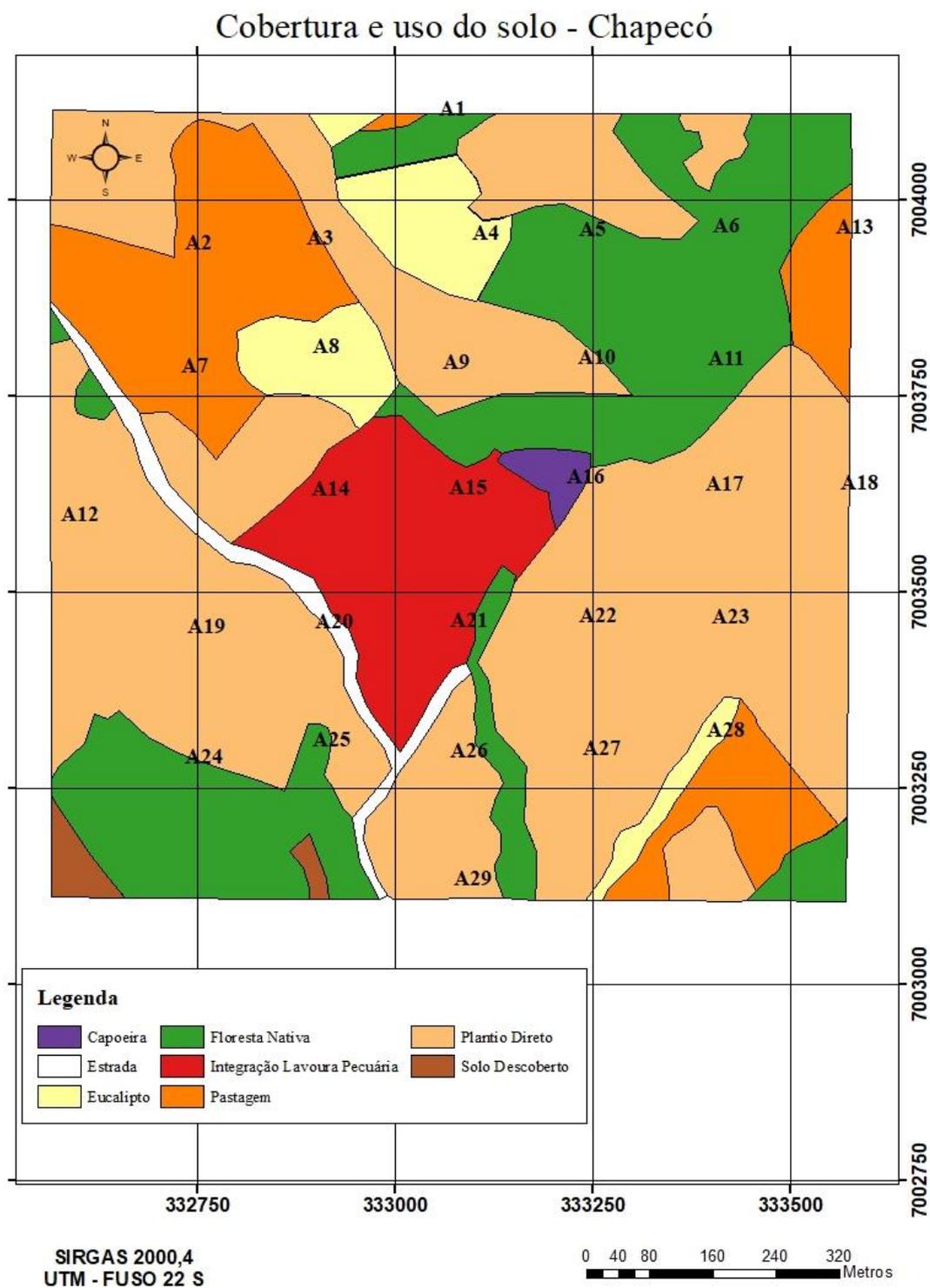


Fonte: Müller, 2019.

ANEXO F - Mapa das classes de solo na janela da paisagem de São Miguel do Oeste, Santa Catarina.

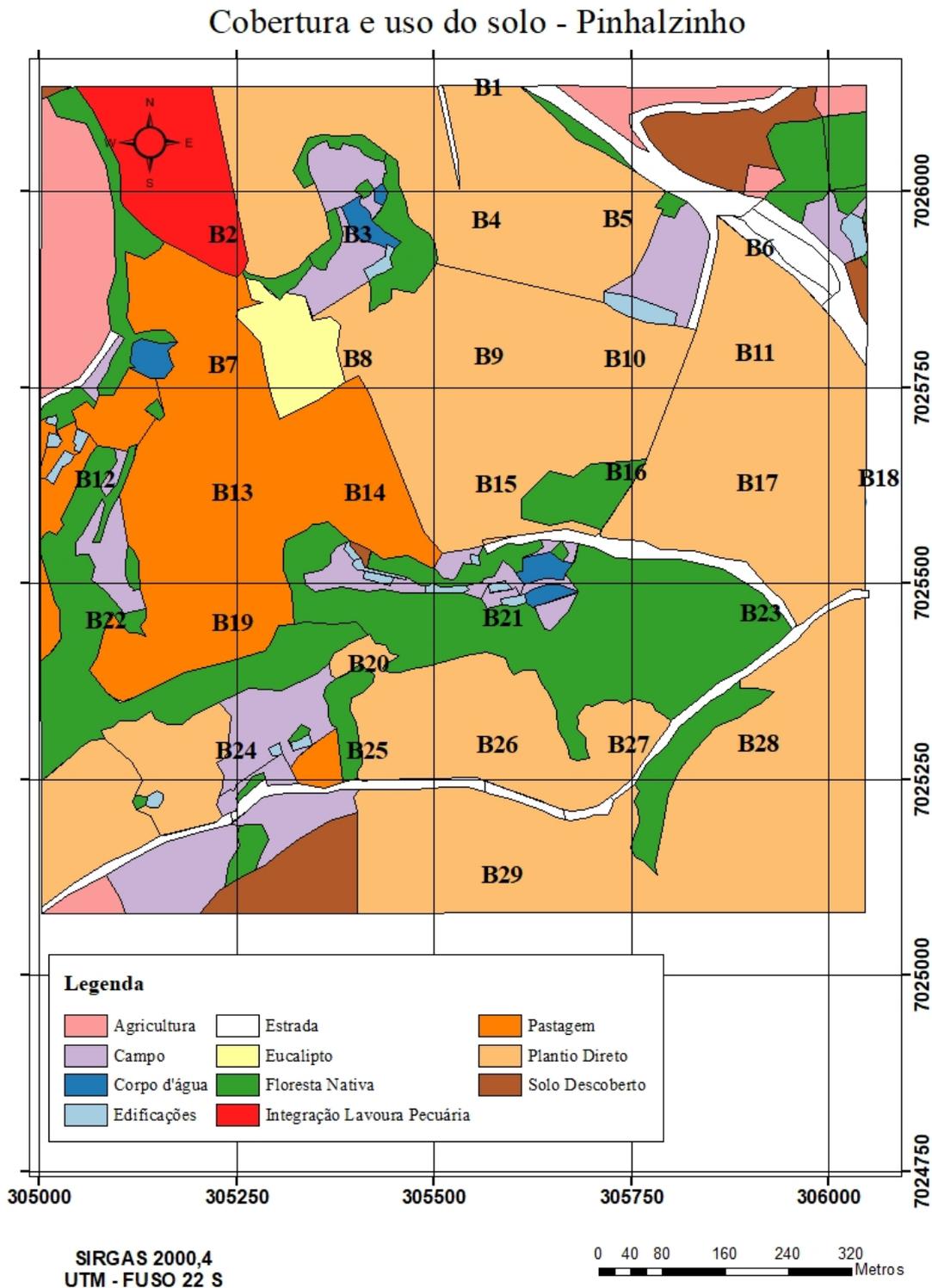


ANEXO G – Mapa de cobertura e uso da terra da paisagem do município de Chapecó, Santa Catarina.



Fonte: ALEXANDRE, D. **Fragmentação da paisagem e estrutura da comunidade de invertebrados edáficos**. 2019. 166 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2019.

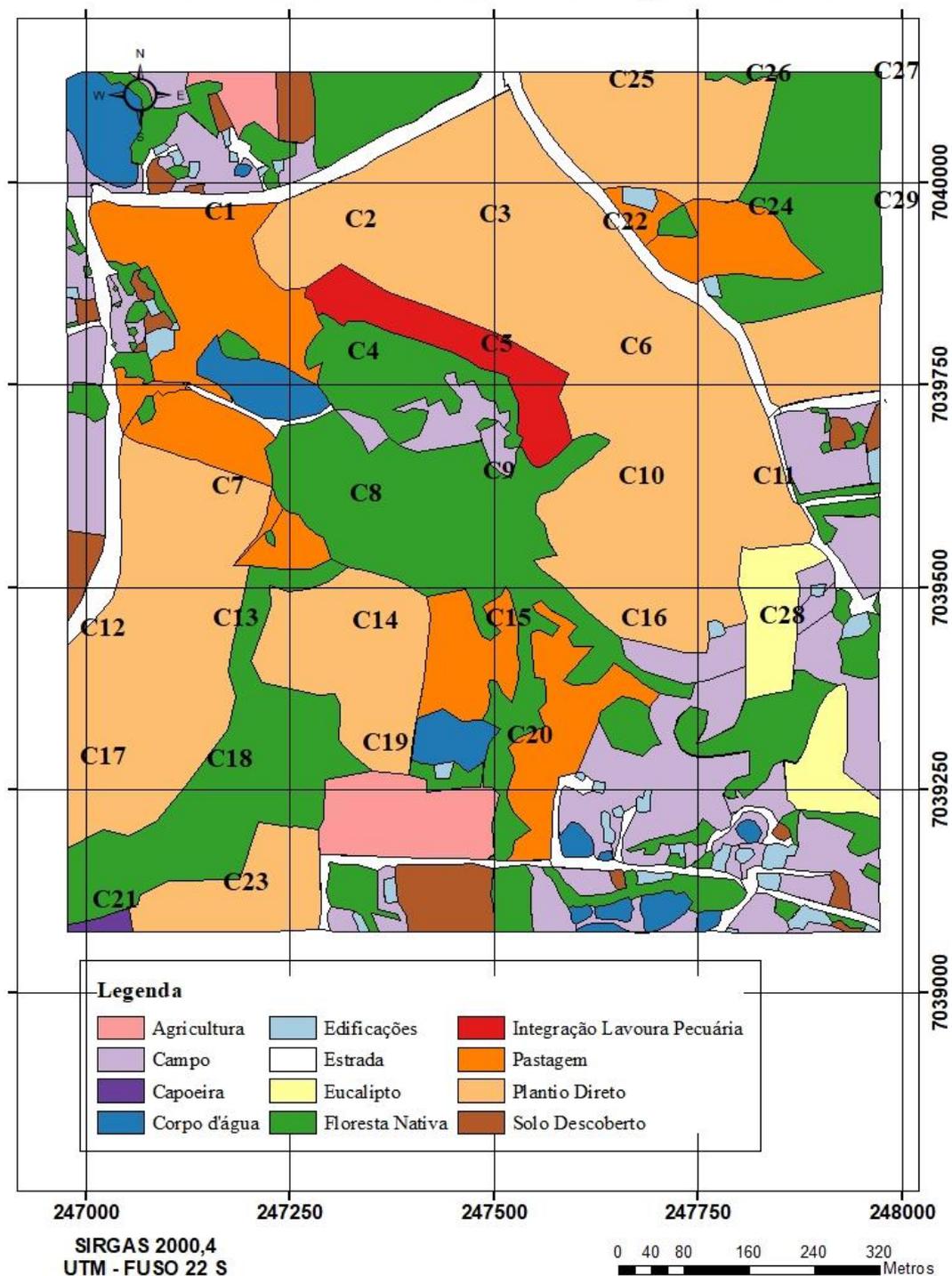
ANEXO H – Mapa de cobertura e uso da terra da paisagem do município de Pinhalzinho, Santa Catarina.



Fonte: ALEXANDRE, D. **Fragmentação da paisagem e estrutura da comunidade de invertebrados edáficos**. 2019. 166 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2019.

ANEXO I – Mapa de cobertura e uso da terra da paisagem do município de São Miguel do Oeste, Santa Catarina.

### Cobertura e uso do solo - São Miguel do Oeste



Fonte: ALEXANDRE, D. **Fragmentação da paisagem e estrutura da comunidade de invertebrados edáficos**. 2019. 166 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2019.