

PÂMELA NIEDERAUER POMPEO

**DIVERSIDADE DE MORFOTIPOS E FAMÍLIAS DE
COLEOPTERA EM SISTEMAS AGRÍCOLAS E FLORESTAIS
DO PLANALTO CATARINENSE**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Dr. Dilmar Baretta

LAGES, SC
2016

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

Pompeo, Pâmela Niederauer

Diversidade de morfotipos e famílias de
Coleoptera em sistemas agrícolas e florestais do
Planalto Catarinense / Pâmela Niederauer Pompeo.
Lages - 2016.

140 p.

Orientador: Dilmar Baretta

Co-orientador: Osmar Klauberg Filho

Co-orientador: Alvaro Luiz Mafra

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado
de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Florestal, Lages, 2016.

1. Fauna do solo. 2. Biodiversidade edáfica. 3.
Indicadores ecológicos. 4. Traits funcionais. I.
Baretta, Dilmar. II. Klauberg Filho, Osmar. Mafra,
Alvaro Luiz. III. Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.
IV. Título.

PÂMELA NIEDERAUER POMPEO

**DIVERSIDADE DE MORFOTIPOS E FAMÍLIAS DE
COLEOPTERA EM SISTEMAS AGRÍCOLAS E FLORESTAIS
DO PLANALTO CATARINENSE**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Banca examinadora:

Orientador: _____



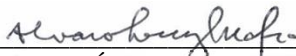
Prof. Dr. Dilmar Baretta
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Membro: _____



Profa. Dra. Júlia Carina Niemeyer
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Membro: _____



Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Lages, SC 15 de julho de 2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos que contribuíram para a realização deste trabalho.

À Deus, por me conduzir pelos melhores caminhos, me manter persistente durante a jornada e por colocar pessoas incríveis na minha vida.

À minha família, meu pai Carlos e minha mãe Márcia pelo amor, paciência, incentivo e confiança que depositaram em mim em todos os momentos. Também a minha tia e “segunda mãe” Maristela e minha vó Íria por torcerem sempre pelo meu sucesso.

Ao meu companheiro e amor Rodrigo, pelo apoio nos momentos difíceis, conselhos motivadores e principalmente pela paciência e compreensão.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Dilmar Baretta, pela oportunidade de desenvolver essa pesquisa, por ajudar, sanar dúvidas e contribuir para trilhar o meu futuro profissional.

Aos Professores, Dr. Júlio Cesar Pires Santos, Dr. Osmar Klauberg Filho e Dr. Álvaro Luiz Mafra, pelo apoio e orientação sempre que necessário.

Ao Dr. Luís Carlos Iuñes Oliveira Filho, pelos ensinamentos metodológicos e correções de trabalhos, imprescindíveis para a realização do mestrado.

Aos amigos Dra. Gessiane Ceola, Márcio Gonçalves da Rosa, Janaína Mattge Bröring e Júlia Machado, pela ajuda com questões do projeto e por seus trabalhos, que serviram de base para o desenvolvimento desta dissertação.

Às amigas Cleide Beatriz Bourscheid e Aline Meneguzzi, por percorrerem esse caminho junto comigo desde o início da graduação, pelas risadas e momentos de descontração, mas principalmente pelo amor e amizade verdadeira.

Aos amigos Leticia Scopel, Gilvani Mallmann, Douglas Alexandre, Rafaela Peron, Giovanna Barros, Marcielli Borges, Danielle Ortiz, Josieli Biasi, Ana Carolina Lovatel, Ana Macarri, Priscila Stocco, Camila Casaril e Ana Casara, pelo incentivo, conselhos e por me socorrerem quando precisei de ajuda. Também aos demais colegas de laboratório, por participarem do meu dia a dia.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade do Estado de Santa Catarina, pela oportunidade de realizar o mestrado acadêmico.

À FAPESC (nº 6.309/2011-6), ao CNPq (nº 563251/2010-7), à CAPES e ao PROMOP/UDESC, pelo apoio financeiro ao projeto e disponibilidade de bolsa de mestrado.

A todos, que de alguma forma ajudaram a tornar possível essa conquista.

“A compaixão para com os animais é das mais nobres virtudes da natureza humana”.

Charles Robert Darwin

RESUMO

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. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, SC. 2016.

Os coleópteros (Insecta: Coleoptera) se distribuem em diferentes ambientes e profundidades do solo e são importantes executores de serviços nos ecossistemas. Estudar sua comunidade contribui para elucidar os efeitos da perturbação antrópica sobre a funcionalidade e biodiversidade dos ambientes. O objetivo da pesquisa foi relacionar os efeitos dos sistemas de uso do solo (SUS) sobre a diversidade de Coleoptera, bem como a relação destes com os atributos do solo. Os SUS avaliados foram: culturas sob plantio direto (PD), integração lavoura-pecuária (ILP), pastagem (PA), reflorestamento de eucalipto (RE) e fragmentos de floresta nativa (FN). As amostras foram coletadas em uma grade de amostragem de 3×3 , totalizando nove pontos, distanciados entre si em 30 m, no inverno e verão, em três municípios do Planalto Sul-catarinense. Os coleópteros foram coletados pelos métodos de escavação de monólitos de solo seguindo o *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF) e armadilhas do tipo *Pitfall traps*. Nos mesmos pontos foram coletadas amostras para avaliação dos atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo, além da abundância e diversidade de famílias e grupos eco-morfológicos de coleópteros (morfotipos). Esta última seguiu metodologia do *Eco-morphological index* (EMI), para a obtenção do índice de Qualidade Biológica do Solo (QBS) modificado. Utilizou-se análise estatística multivariada, sendo,

as variáveis ambientais (físicas, químicas e microbiológicas do solo) consideradas como explicativas para a distribuição dos coleópteros. Foram encontradas, independente do método de coleta e SUS, 13 morfotipos e 32 famílias, sendo que os coleópteros com adaptações morfológicas epígeas foram mais abundantes que os hemi-edáficos e os edáficos, respectivamente. As famílias de Coleoptera Staphylinidae, Carabidae e Scarabaeidae foram as mais representativas, independente do SUS. O índice de diversidade de Shannon-Wiener, foi mais elevado nos sistemas FN, RE e PA para morfotipos de Coleoptera. Já para famílias, RE e PA apresentaram maior diversidade. A redução do índice QBS não seguiu um gradiente de intensificação de uso do solo (FN>RE>PA>ILP>PD), apresentando em geral valores mais elevados para FN, PA, ILP, PD e RE, respectivamente. A análise de componentes principais (ACP) indicou distinção na distribuição dos invertebrados entre os diferentes SUS. Os coleópteros edáficos, mais adaptados a vida no solo, demonstraram relação com PD e ILP, devido as melhores condições de pH, Ca e P, quando amostrados por TSBF e com FN quando por armadilhas no verão. A FN apresentou associação com maior quantidade de morfotipos quando avaliadas as ACPs para os métodos separadamente ou em conjunto, sendo que os atributos ligados a dinâmica do C no solo contribuíram para explicar essa distribuição. As famílias de Coleoptera também foram mais abundantes na FN devido aos atributos porosidade e matéria orgânica, condições estas que favorecem a ocorrência de grupos representativos como Staphylinidae, Scarabaeidae e Leiodidae. A separação ao nível de morfotipos, considerando suas adaptações à vida no solo, se mostrou uma eficiente alternativa para discriminar os SUS, além da análise taxonômica, principalmente em conjunto com outras variáveis ambientais explicativas.

Palavras-chave: Fauna do solo. Biodiversidade edáfica. Indicadores ecológicos. Traits funcionais.

ABSTRACT

POMPEO, P. N. COLEOPTERA MORPHOTYPES AND FAMILIES DIVERSITY IN FARMING AND FORESTRY SYSTEMS OF HIGHLANDS, SANTA CATARINA - BRAZIL. 2016. 140 f. Dissertation (Master in Forest Engineering) - University of the State of Santa Catarina. Graduate Program in Forest Engineering, Lages, SC. 2016.

The beetles (Insecta: Coleoptera) are distributed in different environments and soil depths and are important executors of ecosystem services. To study their community contribute to elucidate the effects of human disturbance on functions and environments biodiversity. The aim of this research was to relate the effects of land-use systems (LUS) on Coleoptera diversity, as well their relationship with soil properties. The LUS evaluated were no-tillage crops (NT), integrated crop-livestock (ICL), pasture (PA), *Eucalyptus* plantation (EP) and native forest fragments (NF). Samples were collected from a 3×3 grid giving nine points at a distance of 30 m from each other, in winter and summer, in three municipalities in the southern Santa Catarina highlands, Brazil. The beetles were collected by methods of soil monoliths excavation following the Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) and Pitfall traps. The same points were collected samples for evaluation of physical, chemical and microbiological soil attributes, abundance and diversity of families and eco-morphological groups of Coleoptera (morphotypes). The last followed the Eco-morphological index methodology (EMI), for obtaining the Biological Quality of Soil index (QBS) modified. We used multivariate statistical analysis, and the environmental variables (physical, chemical and microbiological of soil) considered as explicative for the Coleoptera distribution. Were found,

regardless of collection method and LUS, 13 morphotypes and 32 families, being the beetles with epigeal morphologic adaptation were more abundant than hemi-edaphic and edaphic respectively. The Coleoptera families Staphylinidae, Carabidae and Scarabaeidae were the most representative, regardless of LUS. The Shannon-Wiener diversity index, was higher in NF, RE and PA systems to Coleoptera morphotypes. As for families, RE and PA showed higher diversity. The reduction of QBS index did not follow a gradient of land use intensification (NF>EP>PA>ICL>NT), with generally higher values for NF, PA, ICL, NT and EP, respectively. The Principal Component Analysis (PCA) indicated distinction in the distribution of invertebrates between different LUS. The edaphic Coleoptera, more adapted to life in the soil, demonstrated relationship with the NT and ICL systems, because the best conditions of pH, Ca and P, when sampled by TSBF and with NF when by Pitfall traps in the summer. NF showed association with greater amount of morphotypes when assessing their PCAs to the methods separately or together, and the attributes connected to dynamics of C in the soil contributed to explain this distribution. The Coleoptera families were also more abundant in the NF due to attributes porosity and organic matter, conditions favoring the occurrence of representative groups Staphylinidae, Scarabaeidae and Leiodidae. The separation to Coleoptera morphotypes level, considering their adaptation for life in the soil, proved to be an efficient alternative to discriminate LUS, besides the taxonomic analysis, mainly in combination with other explicative environmental variables.

Keywords: Soil fauna. Edaphic biodiversity. Ecological indicators. Functional traits.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema representando o gradiente de intensificação do uso do solo nos sistemas estudados.	40
Figura 2 - Detalhe do croqui com os pontos de amostragem para as análises da fauna edáfica (monólitos do TSBF e armadilhas de queda), químicas, físicas e microbiológicas do solo.	45
Figura 3 - Análise de componentes principais dos morfotipos de coleópteros amostrados com armadilhas (itálico) em relação aos sistemas de uso do solo, no inverno e as variáveis ambientais (negrito), utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense.	67
Figura 4 - Análise de componentes principais dos morfotipos de coleópteros amostrados com armadilhas (itálico) em relação aos sistemas de uso do solo, no verão e as variáveis ambientais (negrito), utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense.	71
Figura 5 - Análise de componentes principais dos morfotipos de coleópteros amostrados por monólitos (itálico) em relação aos sistemas de uso do solo, no inverno e as variáveis ambientais (negrito), utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense.	73
Figura 6 - Análise de componentes principais dos morfotipos de coleópteros amostrados por monólitos (itálico) em relação aos sistemas de uso do solo, no verão e as variáveis ambientais (negrito), utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense.	75
Figura 7 - Análise de componentes principais dos morfotipos de coleópteros amostrados pelos métodos armadilhas + monólitos (itálico), em relação aos sistemas de uso do solo, no inverno e as variáveis ambientais (negrito), utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense.	78

Figura 8 - Análise de componentes principais, dos morfotipos de coleópteros amostrados pelos métodos armadilhas + monólitos (itálico), em relação aos sistemas de uso do solo, no verão e as variáveis ambientais (negrito), utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense.	81
Figura 9 - Frequência relativa de famílias de Coleoptera amostrados por armadilhas no inverno (a) e verão (b), em sistemas de floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no Planalto Sul Catarinense.	95
Figura 10 - Frequência relativa de famílias de Coleoptera amostradas por monólitos no inverno (a) e verão (b), em sistemas de floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no Planalto Sul Catarinense.	96
Figura 11 - Análise de componentes principais, das famílias de coleópteros amostrados por armadilhas (itálico) em relação aos sistemas de uso do solo, no inverno e as variáveis ambientais (negrito) utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense.	101
Figura 12 - Análise de componentes principais, das famílias de coleópteros amostrados por armadilhas (itálico) em relação aos sistemas de uso do solo, no verão e as variáveis ambientais (negrito) utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense.	103
Figura 13 - Análise de componentes principais, das famílias de coleópteros amostrados por monólitos de solo (itálico) em relação aos sistemas de uso do solo, no inverno e as variáveis ambientais (negrito) utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense. ..	106
Figura 14 - Análise de componentes principais, das famílias de coleópteros amostrados por monólitos de solo	

(*itálico*) em relação aos sistemas de uso do solo, no verão e as **variáveis ambientais (negrito)** utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense. .. 107

Figura 15 - Análise de componentes principais das famílias de coleópteros amostradas pelos métodos armadilhas + monólitos (*itálico*) em relação aos sistemas de uso do solo, no inverno e as **variáveis ambientais (negrito)** utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense. 109

Figura 16 - Análise de componentes principais das famílias de coleópteros amostradas pelos métodos armadilhas + monólitos (*itálico*) em relação aos sistemas de uso do solo, no verão e as **variáveis ambientais (negrito)** utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense. 111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos sistemas de floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no Planalto Sul Catarinense.	42
Tabela 2 - Atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm, em sistemas de floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no Planalto Sul Catarinense.....	48
Tabela 3 - Atributos físicos do solo na camada de 0-10 cm em sistemas de floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no Planalto Sul Catarinense.....	49
Tabela 4 - Atributos do solo ligados a atividade biológica na camada de 0-10 cm em sistemas de floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no verão e inverno no Planalto Sul Catarinense.	50
Tabela 5 - Característica e pontuação utilizadas no cálculo do valor EMI (<i>eco-morphological index</i>) para a distinção de diferentes morfotipos de Coleoptera.....	52
Tabela 6 - Classificação de Coleoptera referente a soma da pontuação de cada característica do EMI (<i>eco-morphological index</i>).	53
Tabela 7 – Densidade de Coleoptera (média \pm SD) em floresta nativa (FN), integração lavoura-pecuária (ILP), pastagem perene (PA), plantio direto (PD) e reflorestamento de eucalipto (RE), no Planalto Sul Catarinense.	60
Tabela 8 – Relação de morfotipos de Coleoptera edáficos (Ed), hemi-edáficos (H) e epígeos (Ep), amostrados por	

monólitos e armadilhas, no verão, em floresta nativa (FN), integração lavoura-pecuária (ILP), pastagem perene (PA), plantio direto (PD) e reflorestamento de eucalipto (RE), no Planalto Sul Catarinense ($n = 9 \times 3 = 27$).....62

Tabela 9 – Relação de morfotipos de Coleoptera edáficos (Ed), hemi-edáficos (H) e epígeos (Ep), amostrados por monólitos e armadilhas, no inverno, em floresta nativa (FN), integração lavoura-pecuária (ILP), pastagem perene (PA), plantio direto (PD) e reflorestamento de eucalipto (RE), no Planalto Sul Catarinense ($n = 9 \times 3 = 27$).63

Tabela 10 - Valores dos índices de diversidade de Shannon-Wiener (H') e equabilidade de Pielou (J), para os morfotipos de Coleoptera amostrados por armadilhas e monólitos em floresta nativa (FN), integração lavoura-pecuária (ILP), pastagem perene (PA), plantio direto (PD) e reflorestamento de eucalipto (RE) no inverno e verão, no Planalto Sul Catarinense.....65

Tabela 11 - Índice de qualidade biológica do solo (QBS) para os grupos ecomorfológicos edáficos (Ed), hemi-edáficos (H) e epígeos (Ep) em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD) pelo método das armadilhas no inverno e verão, no Planalto Sul Catarinense.82

Tabela 12 - Índice de qualidade biológica do solo (QBS) dos morfotipos mais representativos, amostrados com armadilhas, em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no inverno e verão, no Planalto Sul Catarinense.84

Tabela 13 - Índice de qualidade biológica do solo (QBS) para os grupos ecomorfológicos edáficos (Ed), hemi-

	edáficos (H) e epígeos (Ep) em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD) pelo método dos monólitos no inverno e verão, no Planalto Sul Catarinense.....	86
Tabela 14 -	Índice de qualidade biológica do solo (QBS) dos morfotipos mais representativos, amostrados por monólitos, em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no inverno e verão no Planalto Sul Catarinense.....	88
Tabela 15 -	Índice de qualidade biológica do solo (QBS) para os grupos ecomorfológicos edáficos (Ed), hemi-edáficos (H) e epígeos (Ep) em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD) independente de método de amostragem e fase de vida de Coleoptera, no inverno e verão, no Planalto Sul Catarinense.....	90
Tabela 16 -	Média ponderada do trait (mT), \pm desvio padrão, total de grupos ecomorfológicos (N_MF), número de morfotipos edáficos (N_Ed), hemi-edáficos (N_H) e epígeos (N_Ep), em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD) pelo método dos monólitos no inverno e verão, no Planalto Sul Catarinense.....	91
Tabela 17 -	Média ponderada do trait (mT), \pm desvio padrão, total de grupos eco-morfológicos (N_MF), número de morfotipos edáficos (N_Ed), hemi-edáficos (N_H) e epígeos (N_Ep), em Floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD) pelo método das armadilhas, no inverno e verão no Planalto Sul Catarinense.	92

Tabela 18 - Famílias e número de indivíduos de Coleoptera (N° ind.) amostrados por armadilhas e monólitos, independente do sistema de uso do solo e épocas de coleta, no Planalto Sul Catarinense.....	94
Tabela 19 - Valores dos índices de diversidade de Shannon-Wiener (H') e equabilidade de Pielou (J) para famílias de Coleoptera, em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no Planalto Sul Catarinense.	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP	Análise de componentes principais
Al	Alumínio
Bio	Bioporos
Ca	Cálcio
CMic	Carbono Microbiano
COP	Carbono orgânico particulado
COT	Carbono orgânico total
CP	Componente principal
CTC	Capacidade de trocar cátions
DCA	<i>Detrended Correspondence Analysis</i>
DMG	Diâmetro médio geométrico de agregados
DMP	Diâmetro médio ponderado de agregados
Ds	Densidade do solo
Ed	Morfotipos edáficos
EMI	<i>Eco-morphological index</i>
Ep	Morfotipos epígeos
FN	Floresta nativa
H	Hidrogênio
H	Morfotipos hemi-edáficos
H'	Índice de diversidade de Shannon-Wiener
H+Al	Acidez potencial
ILP	Integração lavoura-pecuária
J	Índice de equabilidade de Pielou
K	Potássio
Macro	Macroporosidade
Mg	Magnésio
Micro	Microporosidade
MO	Matéria orgânica
mT	Média ponderada do valor do <i>trait</i>
N	Nitrogênio
P	Fósforo
PA	Pastagem perene
PCA	<i>Principal component analysis</i>

PD	Plantio direto
pH	Potencial hidrogeniônico
PT	Porosidade total
QBS	<i>Biological Quality of Soil</i>
$q\text{CO}_2$	Quociente metabólico
$q\text{Mic}$	Quociente microbiano
RDA	<i>Redundancy Analysis</i>
RE	Reflorestamento de eucalipto
RMic	Respiração microbiana
RP	Resistência a penetração
S	Enxofre
Sat Al	Saturação por alumínio
SisBIOTA	Sistema Nacional de Pesquisa em Biodiversidade
SUS	Sistemas de uso do solo
TSBF	<i>Tropical Soil Biology and Fertility</i>
Umi	Umidade
VIF	<i>Variance Inflation Factor</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	OBJETIVOS	28
1.1.1	Objetivo geral	28
1.1.2	Objetivos específicos	28
1.2	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	29
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	30
2.1	SOLO E OS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS	30
2.2	SISTEMAS DE USO DO SOLO	31
2.3	FAUNA EDÁFICA COMO INDICADORA DA QUALIDADE DO SOLO	32
2.3.1	Métodos de amostragem	34
2.3.2	Coleoptera	35
2.3.3	Características funcionais (<i>Traits</i>)	36
3	MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1	DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO	39
3.2	AMOSTRAGEM E AVALIAÇÕES	45
3.2.1	Coleoptera do solo	46
3.2.2	Atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo...	46
3.3	IDENTIFICAÇÃO DE COLEOPTERA	51
3.3.1	Índice eco-morfológico	51
3.3.2	Famílias de Coleoptera	55
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	57
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1	DENSIDADE DE COLEOPTERA	59

4.2	ANÁLISE ECO-MORFOLÓGICA.....	60
4.2.1	Abundância e riqueza de morfotipos de Coleoptera	60
4.2.2	Diversidade de morfotipos de Coleoptera	64
4.2.3	Análise de composição de comunidades de morfotipos de Coleoptera	66
4.2.3.1	Armadilhas de queda (<i>Pitfall traps</i>)	66
4.2.3.2	Monólitos de solo (TSBF)	72
4.2.3.3	Armadilhas de queda + monólitos de solo.....	76
4.2.4	Índice de Qualidade Biológica do Solo (QBS).....	82
4.2.4.1	Armadilhas de queda	82
4.2.4.2	Monólitos de solo	85
4.2.4.3	Armadilhas de queda + monólitos de solo.....	89
4.2.5	Média ponderada do valor do <i>trait</i> na comunidade (mT).....	90
4.3	FAMÍLIAS DE COLEOPTERA	93
4.3.1	Riqueza de famílias de Coleoptera	93
4.3.2	Diversidade de famílias de Coleoptera	97
4.3.3	Análise de composição de comunidades de famílias de Coleoptera.....	99
4.3.3.1	Armadilhas de queda	99
4.3.3.2	Monólitos de solo	104
4.3.3.3	Armadilhas de queda + monólitos de solo.....	108
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	112
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114
	ANEXO	136

1 INTRODUÇÃO

O solo é um sistema biológico dinâmico e complexo, onde diferentes organismos desempenham papéis fundamentais em diversas atividades, dentre elas, formação e estruturação do solo, decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, contribuindo para a manutenção e a sobrevivência de comunidades vegetais e animais nos ecossistemas terrestres. Sabe-se, que a longo prazo, os danos causados no solo podem trazer prejuízos ao bem-estar humano, quando afetam as atividades ligadas aos serviços ecossistêmicos.

A fragmentação das florestas e/ou a conversão de áreas com vegetação nativa para sistemas de produção, podem modificar drasticamente a biodiversidade edáfica, efeito este, provocado pela exploração desmedida dos recursos naturais (BARETTA et al., 2006). Não só os sistemas agrícolas e agropecuários modificam a dinâmica do solo, mas também os monocultivos florestais, pois reduzem a qualidade da serapilheira e com isso também ocorre redução da biodiversidade (CORDEIRO et al., 2004; ASHFORD et al., 2013). As alterações antrópicas podem influenciar a biota de forma direta ou indireta e em diversos níveis ou intensidades, como por exemplo com o uso de agroquímicos, revolvimento intensivo do solo e especialmente as mudanças na composição florística (BARETTA et al., 2014; LEE; ALBAJES, 2016).

Os organismos do solo têm capacidade de dar respostas imediatas as alterações do ambiente. A redução de suas populações pode não ser uniforme para todos os táxons, pois os grupos edáficos se comportam de formas diferentes em seu habitat (LIIRI et al., 2012). Com isso, a análise da densidade e diversidade das comunidades pode indicar um fator ambiental e demonstrar as condições de um solo, seus níveis de equilíbrio ou perturbação (BARETTA et al., 2011). Neste sentido, seu estudo pode auxiliar a indicar as alterações que ocorrem em diferentes

ambientes, principalmente relacionadas as práticas de manejo nas áreas agrícolas.

A fauna, juntamente com a microbiota e as raízes das plantas, compõe o sistema biológico do solo e atua em processos químicos e físicos (BARDGETT; VAN DER PUTTEN, 2014). Inclui muitos invertebrados que variam em tamanho, desde alguns micrômetros (microfauna), como por exemplo os rotíferos e nematoides, outros um pouco maiores (mesofauna), que incluem ácaros, colêmbolos, até organismos grandes que podem variar de milímetros a centímetros de comprimento (macrofauna), sendo, minhocas, aranhas, baratas, formigas, cupins, piolhos de cobra, percevejos e outros, com ciclos de vida que variam de alguns dias até mais de 10 anos (SWIFT et al., 1979; BROWN et al., 2015).

Dentre os grupos presentes no solo, estão os da ordem Coleoptera, que se distribuem em diferentes ambientes e profundidades do solo e podem variar de tamanho abarcando tanto a meso quanto a macrofauna. As famílias de Coleoptera, por exemplo Scarabaeidae, são responsáveis pela escavação e redistribuição da matéria orgânica nos ecossistemas, atuando no ciclo de nutrientes e aeração do solo (LOUZADA, 2008). Outro exemplo é a família Carabidae que fornece serviços importantes no controle de invertebrados considerados pragas e sementes de plantas daninhas (KROMP, 1999; LEE; ALBAJES, 2016). Esses organismos são amplamente distribuídos e respondem as mudanças ambientais, demonstrando serem eficientes indicadores ecológicos (WINK et al., 2005; FARIAS et al., 2015). Estudar a comunidade dos coleópteros, representa um excelente foco para elucidar os efeitos da perturbação antrópica sobre a biodiversidade e funções do ecossistema, pois mesmo mudanças sutis, poderiam trazer consequências, a longo prazo, para a estrutura e diversidade desses invertebrados (SLADE; MANN; LEWIS, 2011).

A maioria dos estudos de comunidades de besouros adultos são baseados em abordagens taxonômicas, isso pode

restringir os poderes de previsão e estudos da comunidade, especialmente quando se comparam regiões com diferentes espécies (FOUNTAIN-JONES; BAKER; JORDAN, 2015). Assim, se faz necessário, encontrar características que são comparáveis em toda uma gama de organismos e ambientes. Separar os organismos edáficos, por meio da sua eco-morfologia, e caracteriza-los em termos de “serviços” prestados ao meio ambiente, pode ajudar a compreender o funcionamento dos ecossistemas.

Muitos estudos têm focado a macrofauna, incluindo coleópteros como indicador ecológico (PAUDEL et al., 2012; ROUSSEAU et al., 2013; VASCONCELLOS et al., 2013; MARICHAL et al., 2014; ROSA et al., 2015), outros no Brasil, tem estudado as respostas dos coleópteros às mudanças ambientais (MEDRI; LOPES, 2001; GANHO; MARINONI, 2005; FAVERO; SOUZA; OLIVEIRA, 2011; RODRIGUES; UCHOA; IDE, 2013; FARIAS et al., 2015) e não existem estudos que relacionem os morfotipos de coleópteros aos atributos edáficos (físicos e químicos), especialmente envolvendo réplicas verdadeiras dos sistemas de uso do solo.

Este 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. A partir deste, alguns estudos envolvendo fauna edáfica já foram feitos, incluindo dissertações (ROSA, 2013; SOUZA, 2014; MACHADO, 2015) e artigos (BARTZ et al., 2014a, 2014b; ROSA et al., 2015) entretanto nenhum deles realizou a caracterização morfológica dos coleópteros utilizando a metodologia adaptada de Parisi et al. (2005) e / ou analisou sua relação com atributos físicos e químicos do solo, questões em foco no presente trabalho.

A partir das considerações iniciais, as seguintes hipóteses foram testadas neste estudo:

- a) Existem diferenças entre os morfotipos de Coleoptera e sua diversidade estrutural, estudados em cada sistema de uso do solo;
- b) Os sistemas de uso e manejo podem interferir na diversidade de morfotipos e famílias de Coleoptera;
- c) Existe relação entre as variáveis ambientais explicativas (tipo de vegetação, edafoclimáticas e atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo) e a diversidade de morfotipos e famílias de coleópteros (Coleoptera).
- d) Os métodos de coleta podem interferir na amostragem de coleópteros com características funcionais específicas de adaptação a vida no solo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Estudar a diversidade de Coleoptera e sua relação com atributos edáficos em sistemas de uso do solo envolvendo áreas agrícolas e florestais no Planalto Sul Catarinense.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Identificar qual sistema de uso do solo possui a maior abundância e diversidade de morfotipos e famílias de Coleoptera;
- b) Avaliar o potencial de uso dos grupos eco-morfológicos para discriminar sistemas de uso do solo (Floresta Nativa, Reflorestamento de Eucalipto, Integração lavoura-pecuária, Plantio direto e Pastagem);
- c) Verificar se existem relações entre as comunidades de coleópteros e os usos do solo e as variáveis ambientais explicativas (atributos físicos, químicos e

- microbiológicos do solo) em diferentes épocas de amostragem;
- d) Avaliar a capacidade dos métodos de coleta para a amostragem de grupos específicos de Coleoptera.
 - e) Determinar o índice de qualidade biológica do solo (QBS) e média ponderada do valor do *trait* na comunidade (mT) para os sistemas de uso do solo estudados.

1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

As informações aqui contidas compreendem os resultados das atividades desenvolvidas durante o período do Mestrado Acadêmico em Engenharia Florestal:

- a) O item 1 refere-se à introdução do trabalho;
- b) O item 2 apresenta a fundamentação teórica que corresponde a uma revisão bibliográfica a respeito dos temas principais abordados e conceitos relacionados ao presente estudo, como qualidade do solo em ecossistemas florestais e agrícolas, fauna edáfica como indicador ecológico, características e funções dos coleópteros;
- c) O item 3 expõe a caracterização dos usos do solo estudados, o material empregado e as metodologias desenvolvidas para a amostragem, identificação dos morfotipos e famílias dos coleópteros e posterior análise dos dados;
- d) No item 4, são apresentados, analisados e discutidos os resultados obtidos da identificação morfológica, classificação taxonômica dos organismos a nível de família e dos atributos ambientais;
- e) No item 5, estão reunidas as considerações finais e recomendações para trabalhos futuros envolvendo diversidade de Coleoptera.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SOLO E OS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

Durante muitos anos os sistemas de produção eram baseados no revolvimento intensivo do solo, monocultivo e a utilização de fogo para controle de espécies vegetais não interessantes economicamente (SILVA et al., 2011). Mas as técnicas de preparo e cultivo convencionais tem efeitos prejudiciais nos processos biológicos e erosivos do solo, causados pelo transito de máquinas, manejo inadequado do solo e compactação subsuperficial (BARETTA et al., 2014). As relações entre o meio ambiente e a necessidade de aumento na produtividade agrícola geraram uma preocupação em relação à preservação da biodiversidade nos ecossistemas, pois estes fornecem serviços essenciais para a manutenção da vida no planeta. O solo tem papel primordial nesses serviços, pois contribui na regulação do ciclo hidrológico, filtragem de poluentes, sequestro de carbono, ciclagem de nutrientes, além de sustentar uma grande diversidade biológica (BARDGETT; VAN DER PUTTEN, 2014).

O solo é um recurso considerado não renovável, pois a formação de poucos centímetros demora milhares de anos, além de ser um sistema, do ponto de vista biológico, onde diferentes grupos da fauna e microbiota estão presentes em grande abundância, ocupando posições importantes na funcionalidade dos ambientes (GARDI et al., 2009; BARETTA et al., 2011). Contudo, mesmo demorando grande período de tempo para ser formado e dispondo de tamanha biodiversidade, o solo pode ser completamente degradado em curto prazo se gerido com irresponsabilidade (MARTINS et al., 2010).

O aumento da preocupação, no final do último século, em conservar os recursos naturais e reduzir a degradação nos sistemas agrícolas, foi decisivo para que se definisse o papel do solo nesse contexto e a sua ideia de qualidade. Depois de

algumas contribuições importantes, na década de 1990, foi elaborado um conceito abrangente, que define a qualidade do solo como “a capacidade deste em funcionar, dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou melhorar a qualidade do ar e da água, e promover a saúde das plantas dos animais e dos homens” (DORAN; PARKIN, 1994; KARLEN et al., 1997) e que é utilizado até os dias atuais (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009; GARRIGUES et al., 2012).

A avaliação de um conjunto de medidas pode dar a ideia do funcionamento do solo e indicar sua qualidade, dentre elas se incluem três categorias de indicadores, os químicos, físicos e biológicos (DORAN; PARKIN, 1996; GRADI et al., 2009). Essas medidas precisam ser propriedades mensuráveis (quantitativas e/ou qualitativas) do solo ou da planta acerca de um processo ou atividade e que permitam caracterizar, avaliar e acompanhar as alterações ocorridas num dado ecossistema (KARLEN et al., 1997; LAISHRAM et al., 2012; VIDAL LEGAZ et al., 2016).

2.2 SISTEMAS DE USO DO SOLO

Acredita-se na premissa de que para manter a qualidade do solo é necessário adotar práticas conservacionistas de produção e gestão das áreas de interesse. Os sistemas florestais naturais costumam sustentar o equilíbrio dinâmico dos fatores ligados a matéria orgânica, fertilidade, estruturação, infiltração de água, biodiversidade edáfica, entre outros. Sendo assim, o manejo adequado pode incrementar ou favorecer, entre outros fatores, a fauna do solo de forma que ela melhore o ambiente onde vive e conseqüentemente a produtividade (STORK; EGGLETON, 1992; LOURENTE et al., 2007).

O tipo de preparo do solo pode modificar as populações de organismos edáficos, devido a efeitos diretos e indiretos sobre os fatores relacionados ao solo e às plantas (BARETTA et al.,

2006). Portanto, o sistema de manejo adotado tem papel decisivo nas alterações que ocorrem no solo. Em função disso, os sistemas conservacionistas buscam priorizar o uso sustentável dos ecossistemas terrestres e algumas práticas de manejo como o plantio direto e integração lavoura-pecuária têm demonstrado efeitos benéficos, não somente na melhoria dos atributos físicos e químicos, mas também do ponto de vista biológico (ANDERSEN, 1999; PORTILHO et al., 2011; BARTZ et al., 2014b). Quanto ao manejo florestal, algumas práticas específicas podem provocar mudanças na biodiversidade do solo e consequentemente na performance dos ecossistemas, pois em solos florestais, os invertebrados participam de processos ecossistêmicos nas diferentes escalas, temporal e espacial, incluindo a decomposição da matéria orgânica, regulação das perdas de nutrientes ou bioturbação. (CHAUVAT et al., 2011; PEREIRA; BARETTA; CARDOSO, 2015).

De modo geral, as mudanças observadas nos ambientes, ocorrem devido a intensificação de uso da terra e alterações da composição vegetal, que provocam um impacto desproporcional sobre a biota do solo. Aquino et al. (2008) perceberam maior densidade total e riqueza da fauna em sistemas florestais quando comparados com os sistemas de cultivo. Camara et al. (2012), afirmam que a introdução de espécies como o eucalipto é capaz de reduzir ou suprimir alguns táxons de invertebrados terrestres. Dessa forma se caracterizam os bioindicadores, capazes 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).

2.3 FAUNA EDÁFICA COMO INDICADORA DA QUALIDADE DO SOLO

O conhecimento da fauna edáfica e suas relações ecológicas são importantes, tanto para a avaliação da qualidade

do solo, como para o entendimento da dinâmica dos sistemas de produção (BARETTA et al., 2011; BROWN et al., 2015). À vista disso, atualmente a fauna do solo tem sido avaliada como indicadora da qualidade do solo (BARETTA; BROWN; CARDOSO, 2010; BARETTA et al., 2011; CUNHA NETO et al., 2012; PAUDEL et al., 2012; LIMA et al., 2013; ROUSSEAU et al., 2013; COURTNEY; FEENEY; GRADY, 2014; POMPEO et al., 2016).

Para o levantamento e análise dos bioindicadores da fauna e a escolha do melhor método de amostragem é importante conhecer quais os grupos existentes e como eles podem ser categorizados, diante dos objetivos da pesquisa. Neste contexto, a fauna do solo pode ser classificada de diversas formas, uma delas está relacionada ao tamanho do corpo, sendo dividida em microfauna (4 μ m – 100 μ m), mesofauna (100 μ m – 2mm) e macrofauna (> 2mm) (SWIFT; HEAL; ANDERSON, 1979).

A macrofauna edáfica tem seu benefício cada vez mais conhecido pelo papel ativo que desempenha no crescimento das plantas, na ciclagem de nutrientes e na melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (PAOLETTI, 1999; LAVELLE et al., 2006; VASCONCELLOS et al., 2013; BARTZ et al., 2014a; ROSA et al., 2015). Da mesma forma a mesofauna contribui nos processos de recuperação e restauração do solo, uma vez que age na ciclagem de nutrientes, estímulo e controle dos microrganismos, além de servirem de alimento para outros grupos da fauna edáfica (BARETTA et al., 2011; OLIVEIRA FILHO et al., 2015).

Juntos, esses grupos se destacam pela atuação relevante na trituração, distribuição do material orgânico e promoção de alterações substanciais nos parâmetros físicos, por exemplo agregação do solo e porosidade (LAVELLE; SPAIN, 2001), além de ocuparem diferentes níveis tróficos, formando uma complexa teia alimentar (BARDGETT; VAN DER PUTTEN, 2014).

2.3.1 Métodos de amostragem

A caracterização biológica do solo deve levar em conta as condições presentes nas áreas de estudo, ser um método robusto e confiável, além de apresentar padronização. Esta última é muito importante pois dá condições de comparação dos resultados com outros trabalhos publicados na literatura científica, possibilita formar uma base de dados que servirá para análises futuras e até mesmo monitoramento da biodiversidade (GARDI et al., 2009).

No caso da avaliação da fauna edáfica, a amostragem conjunta de vários grupos taxonômicos para fins de avaliação da qualidade do solo pode ser feita por meio de diferentes metodologias, mas todas apresentam limitações, pois não existe um único método capaz de amostrar, de maneira eficiente e ao mesmo tempo, a micro, meso e macrofauna (BARETTA et al. 2011).

Um importante método para amostragem da macrofauna é o de monólitos do solo, destinado aos artrópodes que vivem na superfície do solo e em profundidade próxima a esta. É um método quantitativo, recomendado pelo programa "*Tropical Soil Biology and Fertility*" (ANDERSON; INGRAM, 1993). Alguns anos mais tarde o Comitê Técnico 190 de Qualidade do solo ISO (*International Organization for Standardization*) propôs a inclusão do método no programa (ISO, 2008), sendo este, muito difundido mundialmente (GARDI et al., 2009).

Outra metodologia bastante utilizada é a das armadilhas de queda, também conhecida como *Pitfall traps*, utilizadas com o objetivo de determinar a diversidade de espécies de invertebrados, associados à interface solo-serapilheira (BARETTA et al., 2014). É considerado um método qualitativo e abrange organismos da meso e macrofauna móveis, ou seja, que caminham sobre a superfície do solo (AQUINO, 2006).

Essas metodologias, quando implementadas para um grupo específico da fauna como os coleópteros edáficos,

apresentam excelentes resultados e são amplamente empregadas (FAVERO; SOUZA; OLIVEIRA, 2011; LEE; ALBAJES, 2016).

2.3.2 Coleoptera

O grupo dos Coleoptera pode ser encontrado em quase todos os ambientes e também faz parte da fauna invertebrada do solo. Diferenciam-se amplamente em hábitos e alimentam-se de diversos tipos de materiais, podendo ser fitófagos, predadores, fungívoros, detritívoros e alguns parasitas. Uma das características mais evidentes e que ajudam a diferenciá-los dos outros insetos, quando adultos, é a estrutura das asas, a maioria dos coleópteros possuem quatro asas. O par anterior é chamado de élitro(s), é espessado (quitinoso), geralmente rígido e quebradiço, cobrindo as asas posteriores. O par posterior é formado por asas membranosas, mais longas que as primeiras e permanecem dobradas abaixo dos élitros, quando o inseto se encontra em repouso. Os movimentos para o voo ocorrem nas asas membranosas, já os élitros servem como proteção. Alguns grupos de coleópteros podem apresentar pares de asas extremamente reduzidas ou ausentes (ápteros) (TRIPLEHORN; JOHNSON, 2011).

As famílias dessa Ordem, são executoras de serviços do ecossistema, como escavação e posterior acúmulo de matéria orgânica, e podem ser encontradas no solo em diferentes profundidades (LOUZADA, 2008). Os besouros, como são comumente chamados, realizam importantes funções no solo, como decomposição de excretas e de resíduos de origem animal e vegetal (YAMADA et al., 2007), aeração do solo, transporte de matéria orgânica, controle biológico (ALMEIDA; LOUZADA, 2009), aumento do crescimento das plantas, cujo efeito proporcionado por escaravelhos ou rola-bosta (Família: Scarabeidae) pode igualar ou até superar o da aplicação de fertilizantes químicos (NICHOLS et al., 2008).

Vários autores já estudaram essa ordem e relacionaram com as alterações nos ecossistemas e a qualidade do solo, como por exemplo, indicadores de temperatura (KROMP, 1999), de impacto de cultivo (DUNXIAO et al., 1999), indicadores de maior umidade (MILHOMEM; MELLO; DINIZ, 2003), de aumento nas concentrações de P, K e matéria orgânica do solo (DUNXIAO et al., 1999; WINK et al., 2005), indicadores de impactos em áreas ripárias (STOCKAN et al., 2014) e baixos níveis de N e Mg (FARIAS et al., 2015).

2.3.3 Características funcionais (*Traits*)

Apesar dos coleópteros ocuparem praticamente todos os nichos terrestres (ERWIN, 2004), quase dois terços das espécies aguardam descrição formal, com isso, ao utilizarem apenas a análise taxonômica, os pesquisadores muitas vezes estudam a ecologia de poucas espécies conhecidas de suas famílias (FOUNTAIN-JONES; BAKER; JORDAN, 2015). Além disso, quando se considera a gama de organismos do solo, em geral, estes 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).

Devido às dificuldades impostas pela falta de conhecimento taxonômico, uma abordagem de características funcionais (*Traits*), vem como uma alternativa, além de ter grandes possibilidades de ajudar a compreender tanto o papel funcional dos coleópteros em ecossistemas, quanto os efeitos das modificações do habitat em grupos da comunidade (PEY et al., 2014; FOUNTAIN-JONES; BAKER; JORDAN, 2015). Essa abordagem ajuda a melhorar o entendimento da montagem das comunidades em relação às mudanças ambientais, como se materializam as relações entre *traits* e as mudanças ambientais,

a importância relativa dos fatores físicos *versus* os fatores bióticos na estruturação das comunidades naturais (DECÄENS et al. 2011).

Trabalhos recentes têm avaliado características morfológicas de besouros, as relacionando com mudanças no ambiente e preferências de habitat como, gradientes de perturbação (RIBERA et al., 2001), sistemas com manejo agrícola (COLE et al., 2002), áreas com manejo florestal (WARNAFFE; DUFRÊNE, 2004), 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).

Muitas características podem ser avaliadas e utilizadas posteriormente para compreender as funções das coleópteros no ambiente, por exemplo, maior comprimento do corpo e coloração mais escura, estão relacionados ao aumento da cobertura florestal (VANDEWALLE et al., 2010), estas são consideradas características de efeito e resposta, pois tamanho do inseto está ligado capacidade de dispersão e a fecundidade, coloração a proteção contra predadores e manutenção da temperatura. Já características como comprimento e formato das antenas estão ligadas a preferência de habitat e capacidade de caça (FOUNTAIN-JONES; BAKER; JORDAN, 2015).

Esses estudos possuem diferentes objetivos e avaliam diferentes características, utilizando métodos variados. Um método relevante para o estudo dos microartrópodes do solo foi o proposto por Parisi (2001). Em seu estudo intitulado “*Evaluation of Soil Quality and Biodiversity in Italy: The Biological Quality of Soil Index (QBS) Approach*”, ele sugere a criação de um índice com o seguinte conceito, quanto maior for a qualidade do solo, maior será o número de grupos de microartrópodes bem adaptados a ele. Os organismos, então são

separados de acordo com sua forma biológica, para avaliar seu nível de adaptação a vida no solo e com o intuito de superar as dificuldades das análises taxonômicas (PARISI et al., 2005). O índice foi concebido numa tentativa de abarcar todos os grupos da fauna do solo (PARISI, 2001; PARISI et al., 2005; VANDEWALLE et al., 2010; MOHAMEDOVA; LECHEVA, 2013). Outros trabalhos já utilizaram essa metodologia adaptada para o estudo de um grupo específico de invertebrados edáficos, os colêmbolos (SANTOS, 2008; CARVALHO, 2012; MACHADO, 2015; SILVA et al., 2016) e demonstraram resultados interessantes para sua utilização.

Por meio dessa análise, os coleópteros podem ser separados em três diferentes níveis de adaptação ao solo, são eles, os edáficos, que mantêm contato direto com o solo por toda a vida; os semi-edáficos, que correspondem aos intermediários e os epígeos, que vivem na superfície do solo, mais próximos a serapilheira (PARISI et al., 2005). Assim, sugere-se o estudo dos coleópteros do solo para diferenciar 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 em determinado ambiente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO

O estudo foi conduzido no Planalto Sul Catarinense, região 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. A precipitação varia entre 1.600 a 1900 mm, com geadas severas e frequentes (ALVARES et al., 2013).

Devido à complexidade de sua formação geológica e a ação climática, há uma diversidade de tipos de solos presentes na região; porém, a maioria deles caracteriza-se por ter profundidade média, com baixa a média fertilidade natural (EMBRAPA, 2006). Os solos estudados em Lages e Campo Belo do Sul, são caracterizados como Nitossolo Bruno e em Otacílio Costa como Cambissolo Húmico (ROSA et al., 2015).

Os sistemas de uso do solo (SUS) estudados envolvem áreas com crescente interferência antrópica no uso do solo (Figura 1). Sendo, floresta nativa (FN); reflorestamento de eucalipto (RE); pastagem perene (PA); integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), sendo estas cinco áreas representadas em cada local de estudo, no Planalto Sul Catarinense, abrangendo os municípios de Campo Belo do Sul, Lages e Otacílio Costa. Os três municípios da região foram selecionados de acordo com suas características geográficas, tipo de solo e histórico de manejo e considerados como as réplicas verdadeiras dos sistemas estudados.

Figura 1 - Esquema representando o gradiente de intensificação do uso do solo nos sistemas estudados.

INTENSIFICAÇÃO DO USO DO SOLO



FN: floresta nativa; RE: reflorestamento de eucalipto; PA: pastagem perene; ILP: integração lavoura-pecuária; PD: plantio direto.

Fonte: Biota SC. **Metodologia.** Disponível em: <http://biotasc.com/site/?page_id=10886>. Acesso em: 12 set. 2016.

As áreas de FN são fragmentos de Floresta Atlântica, sendo a formação de Floresta Ombrófila Mista, uma das principais tipologias da região Sul do Brasil, que se diferencia das outras fitofisionomias florestais pela presença marcante da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze e espécies como *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil., *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl., *Ocotea pulchella* (Nees & Mart.) Mez, *Nectandra lanceolata* Nees, *Cryptocarya aschersoniana* Mez, *Matayba elaeagnoides* Radlk. (IBGE, 2012). Essas áreas foram consideradas como referências, possuem vegetação bem estabelecida e em estágio avançado de sucessão, mas apresentam sub-bosque com trilhas e entrada de animais de produção esporádicas.

Os REs são compostos por árvores de *Eucalyptus dunni* Maiden e *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage entre 7 a 20 anos, sendo anteriormente áreas de campo nativo e usadas como pastagem, com entrada de animais, exceto em Otacílio Costa, onde antes havia plantio de *Pinus* sp. no local.

As PAs, são áreas de campo nativo e não apresentam qualquer tipo de manejo, mas sofreram processo de queimadas, com densidade de 0,4 a 1,5 bovinos ha⁻¹. Essas áreas são

denominadas de Campos de Altitude, estão presentes em regiões com altitude superior a 800 m nos estados de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul e dividem espaço com as Florestas com Araucárias. São constituídos por uma grande variedade de espécies vegetais, destacando-se as pertencentes as famílias Poaceae, Asteraceae, Ciperaceae, Fabaceae, por exemplo *Andropogon lateralis* Nees e *Trichocline catharinensis* Cabrera (BOND-BUCKUP, 2010).

As áreas de ILP, apresentam plantação sob semeadura direta, em Lages e Otacílio Costa há plantio de soja (*Glycine max* L.) no verão e no inverno de azevém (*Lolium multiflorum* L.) e aveia (*Avena strigosa* Schreb). Já em Campo Belo do Sul, no verão, há plantio de soja; no inverno pastagem em 2010 e trigo (*Triticum aestivum* L.) em 2011, lotação de 2 animais ha⁻¹, sendo que nos três municípios, com esse uso, estão entre 10 a 25 anos neste sistema. Também houve aplicação de calcário em intervalos irregulares com uma a duas aplicações, com aproximadamente 2 t ha⁻¹ e aplicações de fungicidas, herbicidas e inseticidas de acordo com as recomendações técnicas de cada cultura.

As áreas de PD são consolidadas com rotação de culturas e manutenção permanente de cobertura do solo, as três áreas com plantio de soja no verão. Já no inverno, em Lages há plantio de azevém e aveia, em Campo Belo do Sul foi plantado trigo em 2010 e ficou em pousio em 2011 e em Otacílio Costa, em 2012 foi plantado milho (*Zea mays*) no verão e nos períodos de inverno fica em pousio. Em todos os PDs foi realizada calagem e houve aplicação de agroquímicos. Mais informações sobre características e histórico das áreas podem ser visualizadas na Tabela 1 ou obtidos em Bartz et al. (2014a) e Rosa et al. (2015).

Tabela 1 – Características dos sistemas de floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no Planalto Sul Catarinense. (Continua)

Município	Sistema	Tamanho (ha)	Coordenada geográfica	Altitude (m)	Tempo de uso da área
Lages	FN	100 ha	S27 47.963 W50 35.743	895	-
	RE	29 ha	S27 47.752 W50 36.069	852	7 anos
	PA	100 ha	S27 47.873 W50 36.000	858	-
	ILP	10 ha	S27 47.544 W50 35.802	873	10 anos
	PD	7 ha	S27 47.123 W50 35.972	883	7 anos

Tabela 1 – Características dos sistemas de floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no Planalto Sul Catarinense. (Continuação)

Município	Sistema	Tamanho (ha)	Coordenada geográfica	Altitude (m)	Tempo de uso da área
Campo Belo do Sul	FN	5 ha	S27 52.943 W50 39.338	1016	-
	RE	1,2 ha	S27 53.363 W50 39.056	989	20 anos
	PA	30 ha	S27 52.130 W50 39.175	1004	-
	ILP	25 ha	S27 52.131 W50 39.980	947	25 anos
	PD	55 ha	S27 52.365 W50 40.366	923	11 anos

Tabela 1 – Características dos sistemas de floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no Planalto Sul Catarinense. (Conclusão)

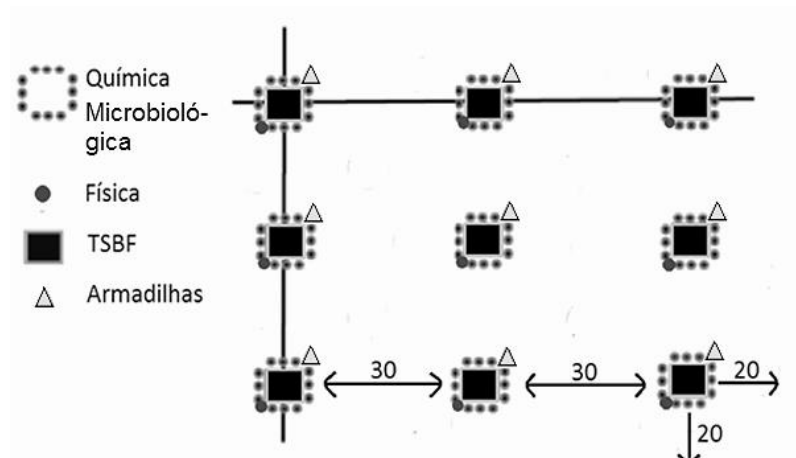
Município	Sistema	Tamanho (ha)	Coordenada geográfica	Altitude (m)	Tempo de uso da área
Otaçílio costa	FN	3 ha	S27 35.674 W49 50.927	919	-
	RE	2,4 ha	S27 33.446 W49 56.879	855	21 anos
	PA	10 ha	S27 37.151 W49 51.461	900	-
	ILP	22 ha	S27 37.110 W49 51.418	902	11 anos
	PD	80 ha	S27 29.063 W49 54.215	879	10 anos

Fonte: Adaptado de Bröring (2013).

3.2 AMOSTRAGEM E AVALIAÇÕES

As amostras dos organismos e do solo foram coletadas, em duas épocas, inverno de 2011 (junho e julho) e verão (dezembro de 2011 e janeiro de 2012), de forma sistemática, em grade amostral de três x três pontos, com espaçamento entre cada ponto de 30 m (para evitar a autocorrelação) e 20 m de bordadura, ou seja, um grid de 1ha (100m x 100m) para cada SUS (Figura 2). A amostragem resultou em 270 pontos, sendo três municípios, com cinco SUS e nove pontos em cada, em dois períodos.

Figura 2 - Detalhe do croqui com os pontos de amostragem para as análises da fauna edáfica (monólitos do TSBF e armadilhas de queda), químicas, físicas e microbiológicas do solo.



Fonte: Produção do próprio autor, 2015.

3.2.1 Coleoptera do solo

Para a avaliação da fauna edáfica, utilizaram-se dois métodos de amostragem, um baseado no *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF) (ANDERSON; INGRAM, 1993) que é quantitativo e 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 separados manualmente e identificados em nível de ordem, com auxílio de microscópio estereoscópico. E as armadilhas do tipo "*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) e enterrados no solo com sua extremidade vazada nivelada com a superfície do solo, mantidos por três dias no campo (BARETTA et al., 2014).

3.2.2 Atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo

Para as análises químicas e microbiológicas do solo, foram coletadas doze subamostras ao redor de cada ponto da grade amostral na camada de 0 - 10 cm, para formar uma amostra composta representativa. A avaliação dos atributos químicos (Tabela 2) seguiu conforme metodologia de Tedesco et al., (1995). A umidade do solo volumétrica foi determinada no laboratório com as amostras secas em estufa a 105 °C por 24 horas (EMBRAPA, 1997).

As amostras para as análises físicas (Tabela 3) foram retiradas com cilindros de aço de 5 cm de altura e 5 cm de diâmetro (indeformadas), sendo analisadas, densidade do solo, porosidade total, microporosidade, macroporosidade e bioporos seguindo manual da Embrapa (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. 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 (Tabela 4), 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 da atividade respiratória microbiana e do CMic calculou-se o quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) (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 ($q\text{Mic}$) expresso como a percentagem de CMic em relação ao COT (ANDERSON, 1994). Mais detalhes sobre as referidas metodologias podem ser obtidos em Bröring (2013).

Tabela 2 - Atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm, em sistemas de floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no Planalto Sul Catarinense.

Atributo químico	Sistemas de Uso do Solo (SUS)				
	FN	RE	PA	ILP	PD
pH H₂O	4,4	4,6	4,7	5,3	5,6
pH SMP	4,9	5,1	5,0	5,8	5,9
P (mg dm ⁻³)	4,3	3,9	3,6	8,7	5,8
K (mg dm ⁻³)	112	84	190	135	128
MO (dag kg ⁻¹)	6,2	4,4	5,3	4,7	4,5
Al (cmol _c dm ⁻³)	3,9	2,8	3,0	0,5	0,1
Ca (cmol _c dm ⁻³)	5,2	2,0	2,1	7,2	7,5
Mg (cmol _c dm ⁻³)	1,7	1,8	1,4	3,8	3,8
H+AL (cmol _c dm ⁻³)	20,8	17,0	17,5	6,2	4,9
CTC (cmol _c dm ⁻³)	27,9	21,0	21,5	17,5	16,5
Sat Al (%)	41,7	42,0	40,7	4,3	1,4
Bases (%)	34,9	30,5	25,4	65,1	70,5
K CTC (CTC ¹)	1,23	1,22	2,66	2,12	2,19
Ca CTC (CTC ¹)	25,5	15,1	13,8	42,1	45,2
Mg CTC (CTC ¹)	8,2	14,2	8,9	20,9	23,1
Ca/Mg	2,8	1,3	1,5	2,3	2,0
Ca/K	17,8	11,0	5,7	24,4	33,6
Mg/K	6,1	10,2	3,5	13,9	17,1

Médias das repetições (n = 27).

pH: Potencial hidrogeniônico; P: Fósforo; K: Potássio; MO: Matéria orgânica; Al: Alumínio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; H+AL: Acidez potencial; CTC: Capacidade de troca de cátions pH 7,0; Sat Al: Saturação por alumínio; Bases: Soma de bases trocáveis; Ca/Mg: Relação cálcio/magnésio; Ca/K: Relação cálcio/potássio; Mg/K: Relação magnésio/potássio.

¹ % de saturação na CTC a pH 7,0

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Tabela 3 - Atributos físicos do solo na camada de 0-10 cm em sistemas de floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no Planalto Sul Catarinense.

Atributo Físico	Sistemas de Uso do Solo (SUS)				
	FN	RE	PA	ILP	PD
Ds (g cm ⁻³)	0,89	0,98	0,95	1,01	1,01
PT (m ³ m ⁻³)	0,65	0,65	0,66	0,65	0,65
Micro (m ³ m ⁻³)	0,56	0,50	0,49	0,47	0,45
Macro (m ³ m ⁻³)	0,09	0,15	0,17	0,19	0,20
Bio (m ³ m ⁻³)	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02
RP (MPa)	1,09	1,53	1,84	1,94	1,85
Areia (%)	42,9	35,5	34,3	25,9	19,1
Argila (%)	37,7	46,2	46,5	49,9	47,1
Silte (%)	19,3	18,3	19,2	24,1	33,8
DMP (mm)	5,55	5,58	5,68	5,50	5,62
DMG (mm)	7,69	7,79	7,87	7,59	7,71

Médias das repetições (n = 27).

DS: Densidade do solo; PT: Porosidade total; Micro: Microporosidade; Macro: Macroporosidade; Bio: Bioporos; RP: Resistência a penetração; DMP: Diâmetro médio ponderado de agregados; DMG: Diâmetro médio Geométrico de agregados.

Fonte: Adaptado de Paulino (2013).

Tabela 4 - Atributos do solo ligados a atividade biológica na camada de 0-10 cm em sistemas de floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no verão e inverno no Planalto Sul Catarinense. (Continua)

Atributo	Sistemas de uso do solo				
	FN	RE	PA	ILP	PD
Verão					
CMic ($\mu\text{g C g}^{-1}$)	382	244	424	185	199
RMic ($\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$) ¹	134	78	94	64	66
<i>q</i>CO₂ ($\mu\text{g } \mu\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$) ²	0,37	0,46	0,25	0,49	0,39
<i>q</i>Mic (%)	0,57	0,60	0,88	0,49	0,52
COT (g kg^{-1})	69	43	49	40	39
COP (g kg^{-1})	4,55	3,12	3,51	2,42	1,71
H (%)	18,81	16,18	16,93	15,95	15,85
S (%)	2,27	1,90	2,25	1,99	1,97
N (%)	4,96	2,46	2,98	2,57	2,44
C/N	14,1	17,8	16,5	15,6	16,1
Umi (%) (v/v)	55	36	41	32	35
Inverno					
CMic ($\mu\text{g C g}^{-1}$)	577	394	544	284	280
RMic ($\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$) ¹	79	55	63	40	32
<i>q</i>CO₂ ($\mu\text{g } \mu\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$) ²	0,14	0,16	0,13	0,14	0,16
<i>q</i>Mic (%)	1,06	1,15	1,34	0,80	0,80
COT (g kg^{-1})	57	35	41	37	36

Médias das repetições (n = 27).

CMic: Carbono da biomassa microbiana; RMic: Respiração microbiana do solo; *q*CO₂: Quociente metabólico; *q*Mic: Quociente microbiano; COT: Carbono orgânico total; COP: Carbono orgânico particulado; Umi: Umidade.

¹ Quantidade de C - CO₂ no solo.

² Quantidade de C - CO₂ na biomassa microbiana do solo.

Tabela 4 - Atributos do solo ligados a atividade biológica na camada de 0-10 cm em sistemas de Floresta nativa (FN), Reflorestamento de eucalipto (RE), Pastagem perene (PA), Integração lavoura-pecuária (ILP) e Plantio direto (PD), no verão e inverno, no Planalto Sul Catarinense. (Conclusão)

Atributo	Sistemas de uso do solo				
	FN	RE	PA	ILP	PD
Inverno					
COP (g kg ⁻¹)	4,55	3,12	3,51	2,42	1,71
H (%)	17,81	15,35	16,25	15,55	15,76
S (%)	1,27	2,54	1,35	0,88	0,96
N (%)	4,61	2,42	2,92	2,7	2,61
C/N	12,4	14,5	14,1	13,6	13,7
Umi (%) (v/v)	58	42	51	40	40

Médias das repetições (n = 27).

COP: carbono orgânico particulado; Umi: umidade.

Fonte: Adaptado de Bröring (2013).

3.3 IDENTIFICAÇÃO DE COLEOPTERA

Em relação as análises da fauna edáfica, as amostras coletadas por armadilhas e monólitos de solo foram triadas e todos os organismos da ordem Coleoptera foram separados e fixados em álcool 80%, para posterior identificação a nível de família e morfotipos.

3.3.1 Índice eco-morfológico

A identificação e contagem das formas biológicas (morfotipos) e famílias de Coleoptera foram realizadas com a utilização de uma lupa (microscópio estereoscópico 40×) com câmera. A morfotipagem é uma análise das características

morfológicas, que integram o conceito de características funcionais (VIOLLE et al., 2007) e vem sendo adaptado para invertebrados do solo (PEY et al., 2014). Neste estudo, foi avaliado o valor *Eco-morphological index* (EMI) (PARISI, 2001; PARISI et al., 2005), 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.

Para tal, a avaliação dos morfotipos consistiu na observação de quatro características de cada coleóptero, a saber: comprimento do corpo superior ou inferior a 2mm, tegumento fino ou de outro jeito, asas membranosas reduzidas ou ausentes e olhos reduzidos/ausentes ou normais dos insetos (Tabela 5).

Tabela 5 - Característica e pontuação utilizadas no cálculo do valor EMI (*eco-morphological index*) para a distinção de diferentes morfotipos de Coleoptera.

CARACTERÍSTICA		EMI
<i>(trait)</i>		
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	0
	cabeça	

Fonte: Adaptado de Parisi et al. (2005).

Os autores consideraram que estas características (Anexo A) estão relacionadas a funções no ecossistema e que as adaptações à vida no solo passam especialmente por essas características. Essas variáveis foram avaliadas para cada coleóptero e depois utilizadas para elucidar a relação entre forma e função.

Um morfotipo foi atribuído para cada combinação diferente de características (Tabela 6), com valor final de EMI correspondente a soma dos valores das quatro características, que pode variar entre 0 e 20.

Tabela 6 - Classificação de Coleoptera referente a soma da pontuação de cada característica do EMI (*ecomorphological index*).

Adaptação	Morfotipo	Característica (trait)				EMI
		a	b	c	d	
Epígeo	Ep5	0	0	0	0	0
	Ep4	0	0	0	5	5
	Ep3	0	0	5	0	5
	Ep2	0	5	0	0	5
	Ep1	5	0	0	0	5
Hemi-edáfico (H)	H6	0	5	0	5	10
	H5	0	5	5	0	10
	H4	0	0	5	5	10
	H3	5	0	0	5	10
	H2	5	0	5	0	10
	H1	5	5	0	0	10
Edáfico (Ed)	Ed5	0	5	5	5	15
	Ed4	5	0	5	5	15
	Ed3	5	5	0	5	15
	Ed2	5	5	5	0	15
	Ed1	5	5	5	5	20

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Com o valor EMI total, separou-se os morfotipos em três grupos: edáficos (de vida no solo, menor poder de dispersão e uma maior adaptação ao solo), que possui morfotipos com valores variando de 15 a 20 (Ed); semi-edáficos (intermediários), com valor 10 (H) e epígeos (habitantes da superfície - serapilheira, menor adaptação ao solo e maior poder de dispersão) com valores de 0 a 5 (Ep). 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.

A partir do índice eco-morfológico, calculou-se os valores de *Biological Quality of Soil* (QBS), que corresponde ao índice de qualidade biológica do solo. O índice QBS, proposto por Parisi (2001), possui como base o conceito de que, quanto maior a qualidade do solo, maior será o número de grupos de microartrópodes bem adaptados a ele. Para essa finalidade, Parisi et al. (2005) geraram valores de EMI, para diferentes organismos edáficos, em uma tentativa de abarcar todos os grupos da fauna do solo. No caso de organismos como os coleópteros, que podem ter mais de um valor de EMI, o valor do índice é determinado pelo EMI mais alto, ou seja, os organismos mais adaptados é que determinam o valor final do índice para o grupo.

No presente estudo, utilizou-se uma adaptação para o cálculo do índice QBS (PARISI et al., 2005), já que trata especificamente do grupo Coleoptera, onde foi utilizado o valor EMI, multiplicado pelo número total de organismos presentes em cada SUS. O problema é formulado matematicamente pela Equação 1.

$$QBS = \sum (n^{\circ} \text{ col} \times \text{valor EMI}) \text{ Equação 1}$$

Sendo, $n^o col$ o conjunto de coleópteros (col) presentes em determinado grupo morfológico, sua abundância absoluta e o *valor EMI* correspondente a pontuação total do índice eco-morfológico deste mesmo morfotipo. Desta forma, obtém-se 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.

Em adição ao QBS, foi calculado o mT (média ponderada do valor do *trait* na comunidade). Onde, este último é calculado como uma média ponderada de um determinado morfotipo, o qual se atribuí valor específico, pela abundância dos organismos (VANDEWALLE et al., 2010), considerando sua participação real em relação ao total de coleópteros. É definido pela Equação 2.

$$mT = \sum \left[\left(\frac{n^o col}{total\ col} \right) \times valor\ EMI \right] \text{ Equação 2}$$

Onde, $n^o col$ o conjunto de coleópteros de determinado grupo morfológico, é dividido pelo *total col* que corresponde a soma de indivíduos distribuídos em todos os morfotipos presentes em cada sistema e o resultado deste é então multiplicado pelo *valor EMI* referente a pontuação do primeiro (i.e., numerador da fração) no índice. Ou seja, um índice de "0" indica que não há afinidade do morfotipo com a adaptação edáfica, enquanto um índice de "20" indica uma elevada afinidade para uma categoria de características de adaptação edáfica. Neste caso o mT possibilita tratar de mais uma informação que é a distribuição de frequências em cada categoria.

3.3.2 Famílias de Coleoptera

Além da avaliação eco-morfológica, os coleópteros foram separados em morfo-espécies e identificados até família

com auxílio de chaves dicotômicas e/ou caracterizações contidas na literatura taxonômica (LIMA, 1952-55; TRIPLEHORN; JOHNSON, 2011) e informações de bancos de dados online (ESALQ, 2015; COLEOPTERA NEOTROPICAL, 2015; BUGGUIDE, 2015).

Inicialmente as morfo-espécies foram caracterizadas em planilhas, fotografadas com câmera acoplada em microscópio estereoscópico e os indivíduos, definidos como referências de identificação, foram fixados em amostras separadas. Os seguintes atributos foram avaliados (Anexo B):

- a) Diferenças de subordens (Adephaga e Polyphaga);
- b) Forma do corpo: alongado, alongado oval ou oval;
- c) Tamanho em mm;
- d) Cor;
- e) Tipo de antena;
- f) Dobras nas antenas (presença ou ausência);
- g) Pernas: Fórmula tarsal;
- 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 supracitadas).

Após a identificação das morfo-espécies referências, a observação dos demais indivíduos foram realizadas por comparação. Se o inseto observado não se encaixasse nas características descritas anteriormente, tratava-se de uma nova referência. Nesse caso, este também era caracterizado, fotografado e separado.

A seleção dos itens avaliados nos coleópteros, levou em consideração as principais características morfológicas geralmente utilizadas por taxonomistas para sua identificação, ou seja, cabeça, antenas, características torácicas, pernas, abdômen e também outras de possível percepção como tamanho,

forma e cor (TRIPLEHORN; JOHNSON, 2011). A observação cuidadosa destes atributos foi feita com ampliação de até 40 vezes, possibilitando a distinção entre os grupos e finalmente famílias de Coleoptera.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises foram realizadas ao nível de SUS, usando o valor de três municípios (nove amostras por município) como réplicas verdadeiras ($n = 3 \times 9 = 27$) em cada SUS. Os valores de densidade de Coleoptera, não normais mesmo após transformações, foram comparados por análise não-paramétrica de Kruskal-Wallis a 5%, utilizando o programa estatístico SPSS v. 20 (SPSS IBM, 2011). Os índices de equabilidade de Pielou (J) e diversidade de Shannon-Wiener (H') foram calculados através da biblioteca VEGAN presente no programa estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011).

Os dados de abundância foram submetidos a uma *Detrended Correspondence Analysis* (DCA), a fim de obter o comprimento do gradiente. Considerando que este comprimento foi inferior a três (< 3), ou seja, com resposta linear, optou-se por fazer a Análise de Componentes Principais (ACP), para cada uma das épocas estudadas (inverno e verão), já que foi detectado efeito de época ($p \leq 0,05$).

A abundância de morfotipos foi utilizada como variável resposta (efeito) e os atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo como variáveis ambientais explicativas nas ACPs. As variáveis explicativas colineares foram identificadas através do *Variance Inflation Factor* (VIF), e por operações de *forward selection*, usando sucessivas *Redundancy Analysis* (RDA) com base em permutações por teste de Monte-Carlo para cada tipo de variável, retirando as que apresentaram colinearidade e selecionando as que melhor explicaram a variação dos dados ($p \leq 0,05$), permitindo a escolha de um conjunto mínimo de variáveis físicas, químicas e

microbiológicas significativas para explicar a variação dos morfotipos de Coleoptera em cada época de coleta. Somente as variáveis significativas das RDAs foram posteriormente utilizadas na ACP como variáveis ambientais explicativas passivas para as mudanças observadas em grupos ecomorfológicos de coleópteros. Adicionalmente, foi realizada também a ACP para as famílias de Coleoptera utilizando o mesmo processo de seleção dos atributos edáficos citados anteriormente. Para todas essas análises utilizou-se o software estatístico CANOCO versão 4.5 (ter BRAAK; SMILAUER, 2002).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DENSIDADE DE COLEOPTERA

No total foram encontrados 776 indivíduos pelo método das armadilhas de queda e 661 indivíduos por monólitos de solo, sendo ao todo (armadilhas + monólitos) 1.437 coleópteros adultos (Dados não demonstrados). Quanto a fase larval de Coleoptera, foram amostrados 764 indivíduos, sendo 750 pelo método TSBF e 14 com as armadilhas.

A abundância dos indivíduos de Coleoptera amostrada por TSBF, quando convertida para densidade de indivíduos por metro quadrado (ind. m⁻²), apresentou densidade média de 91,4 ind. m⁻² no inverno e 76,6 ind. m⁻² no verão. As densidades máximas observadas foram de 736 ind. m⁻² em ILP no inverno e 848 ind.m⁻² também em ILP no verão (Dados não demonstrados).

A densidade de Coleoptera variou entre os SUS nas duas épocas avaliadas quando submetidos ao teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). A comparação aos pares, demonstrou que no inverno a FN, ILP e PA apresentaram as maiores densidades de Coleoptera, sendo que as menores ocorreram em RE e PD, quando comparadas a FN. Já no verão apenas RE apresentou menor densidade, quando comparada a FN (Tabela 7).

O gênero *Eucalyptus* vem sendo muito cultivado no território brasileiro, mas apesar de trazer um grande benefício econômico, ter poucas exigências ecológicas e se adaptar muito bem as condições ambientais do país, pode gerar modificações nos ecossistemas pois é uma espécie exótica e geralmente plantada em monocultivo. Portanto, áreas de RE possuem uma serapilheira menos diversa, de menor qualidade, disponibilizando menos recursos para a fauna edáfica, além disso, se mal manejadas, podem trazer outros problemas relacionados a qualidade do ecossistema, alterando atributos

edáficos, gerando desequilíbrios populacionais entre insetos-pragas e inimigos naturais (GARLET et al., 2015).

Essas condições tornam o ambiente menos atrativo para alguns grupos de coleópteros quando comparado a locais com vegetação nativa e/ou com maior disponibilidade de recursos para a sobrevivência dos invertebrados. Em contrapartida, as monoculturas podem beneficiar indivíduos, considerados pragas na cultura do eucalipto, como o besouro-amarelo *Costalimaita ferruginea* (Fabricius).

Tabela 7 – Densidade de Coleoptera (média \pm SD) em floresta nativa (FN), integração lavoura-pecuária (ILP), pastagem perene (PA), plantio direto (PD) e reflorestamento de eucalipto (RE), no Planalto Sul Catarinense.

SUS	Densidade ind m ⁻²	Média (Rank)	Densidade ind m ⁻²	Média (Rank)
	Inverno		Verão	
FN	160,6 \pm 125,4	92,0 a	85,9 \pm 88,4	83,6 a
RE	62,2 \pm 80,6	54,0 b	37,3 \pm 43,9	53,8 b
PA	69,9 \pm 71,2	67,8 ab	38,5 \pm 31,1	57,2 ab
ILP	121,5 \pm 161,6	75,3 ab	148,1 \pm 226,3	73,1 ab
PD	42,7 \pm 43,2	50,9 b	71,7 \pm 70,5	72,3 ab

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas são semelhantes pelo teste Kruskal-Wallis ($p < 0,05$; $n = 135$).

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

4.2 ANÁLISE ECO-MORFOLÓGICA

4.2.1 Abundância e riqueza de morfotipos de Coleoptera

Os coleópteros adultos ficaram distribuídos em 13 morfotipos (Tabelas 8 e 9) de acordo com a análise eco-

morfológica adaptada de Parisi et al. (2005). Destes, se destacaram, como os mais frequentes em cada grupo ecomorfológico (epígeo, hemi-edáfico e edáfico), os morfotipos Ep5, Ep2, H6 e Ed2, respectivamente. Já os menos representativos foram Ep4, H1, Ed5, H5, Ep3, H2, H4, Ep1, Ed1, respectivamente.

Os coleópteros mais abundantes foram os epígeos, sendo que os morfotipos Ep2 e o Ep5 foram os mais representativos, com maior abundância no verão e inverno (Tabela 8 e 9), independente de método de amostragem

Tabela 8 – Relação de morfotipos de Coleoptera edáficos (Ed), hemi-edáficos (H) e epígeos (Ep), amostrados por monólitos e armadilhas, no verão, em floresta nativa (FN), integração lavoura-pecuária (ILP), pastagem perene (PA), plantio direto (PD) e reflorestamento de eucalipto (RE), no Planalto Sul Catarinense ($n = 9 \times 3 = 27$).

Morfotipo	Monólito de solo					Armadilha de queda				
	Verão					Verão				
	FN	RE	PA	ILP	PD	FN	RE	PA	ILP	PD TOTAL
Ed1	0	0	0	0	0	1	0	2	0	1 4
Ed2	0	0	0	2	5	84	5	11	1	7 115
Ed5	2	0	2	2	9	1	1	1	1	2 21
H1	0	3	1	1	4	8	6	3	2	8 36
H2	2	1	0	0	1	1	1	1	1	0 8
H4	0	0	0	0	0	3	0	1	1	0 5
H5	5	2	0	0	0	4	0	0	0	0 11
H6	10	3	9	40	1	1	0	0	0	0 64
Ep1	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0 7
Ep2	32	8	6	6	20	10	8	13	10	23 227
Ep3	1	2	0	0	1	0	1	4	4	0 13
Ep4	8	3	7	0	0	2	1	0	0	0 21
Ep5	14	9	10	44	38	15	29	10	107	45 461

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Tabela 9 – Relação de morfotipos de Coleoptera edáficos (Ed), hemi-edáficos (H) e epígeos (Ep), amostrados por monólitos e armadilhas, no inverno, em floresta nativa (FN), integração lavoura-pecuária (ILP), pastagem perene (PA), plantio direto (PD) e reflorestamento de eucalipto (RE), no Planalto Sul Catarinense ($n = 9 \times 3 = 27$).

Morfotipo	Monólitos de solo						Armadilha de queda					
	FN	RE	PA	ILP	PD	TOTAL	FN	RE	PA	ILP	PD	TOTAL
Inverno												
Ed1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ed2	2	0	0	2	7	12	1	0	0	0	0	12
Ed5	4	0	5	3	6	18	0	0	0	0	0	18
H1	5	1	1	1	0	21	2	0	4	1	6	21
H2	2	4	0	1	0	10	0	0	1	1	1	10
H4	3	0	1	1	0	7	1	0	1	0	0	7
H5	5	2	0	0	1	10	0	0	0	1	1	10
H6	23	0	22	23	2	71	1	0	0	0	0	71
Ep1	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4
Ep2	21	10	4	15	6	64	3	1	3	0	1	64
Ep3	2	0	0	3	0	5	0	0	0	0	0	5
Ep4	29	6	7	4	2	48	0	0	0	0	0	48
Ep5	13	17	12	36	22	174	26	11	5	23	9	174

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

4.2.2 Diversidade de morfotipos de Coleoptera

Os resultados obtidos da análise do índice de diversidade de Shannon (H') (Tabela 10), para o método das armadilhas no inverno, apresentaram maior valor no sistema PA seguido da PD e menor valor em ILP. No verão, a diversidade foi maior em PA, seguido por RE e menor em PD. A equabilidade de Pielou (J), apresentou padrão semelhante ao H' , para as duas épocas.

Quanto ao método dos monólitos, os resultados mais elevados de H' e J , no inverno, foram obtidos em FN e no verão em RE seguido de FN. Sendo que, na estação fria, RE demonstrou menores valores (Tabela 10).

Já para a diversidade de morfotipos, independente do método de amostragem (armadilha + monólito), observaram-se os maiores valores em PD no inverno e PA no verão (Tabela 10). Nos três sistemas, FN, RE e PA houve aumento dos H' e J no verão, padrão não observado para ILP e PD, que apresentaram redução nestes índices no mesmo período em comparação ao inverno.

É importante destacar que no verão, os SUS com nenhum ou reduzido manejo obtiveram resultados mais elevados na diversidade, demonstrando que estes favorecem o estabelecimento de maior diversidade de morfotipos de grupos estruturais com hábitos diferenciados no solo. Este mesmo padrão foi encontrado por Machado (2015), no índice H' para grupos eco-morfológicos de colêmbolos, amostrados por armadilhas, nos mesmos sistemas de uso do solo na região do Planalto Sul do Estado de Santa Catarina.

Todos os solos dos sistemas estudados, possuíam algum tipo de cobertura, contudo, suas especificidades de manejo e condições edafoclimáticas, podem ser determinantes para as diferenciações de morfotipos de colêmbolos (MACHADO, 2015) e de coleópteros, observadas no presente estudo, para as duas épocas.

Tabela 10 - Valores dos índices de diversidade de Shannon-Wiener (H') e equabilidade de Pielou (J), para os morfotipos de Coleoptera amostrados por armadilhas e monólitos em floresta nativa (FN), integração lavoura-pecuária (ILP), pastagem perene (PA), plantio direto (PD) e reflorestamento de eucalipto (RE) no inverno e verão, no Planalto Sul Catarinense.

	FN	RE	PA	ILP	PD
Armadilhas Inverno					
H'	0,79	0,54	1,43	0,48	1,19
J	0,31	0,21	0,56	0,19	0,47
Armadilhas Verão					
H'	1,33	1,39	1,81	1,26	0,67
J	0,52	0,54	0,70	0,49	0,26
Monólitos Inverno					
H'	2,06	1,47	1,55	1,62	1,60
J	0,80	0,57	0,60	0,63	0,62
Monólitos Verão					
H'	1,77	1,93	1,68	1,10	1,46
J	0,69	0,75	0,65	0,43	0,57
Armadilhas + Monólitos Inverno					
H'	1,65	1,31	1,57	1,44	1,82
J	0,62	0,49	0,59	0,54	0,69
Armadilhas + Monólitos Verão					
H'	1,75	1,84	2,12	1,30	1,61
J	0,66	0,70	0,80	0,49	0,61

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

4.2.3 Análise de composição de comunidades de morfotipos de Coleoptera

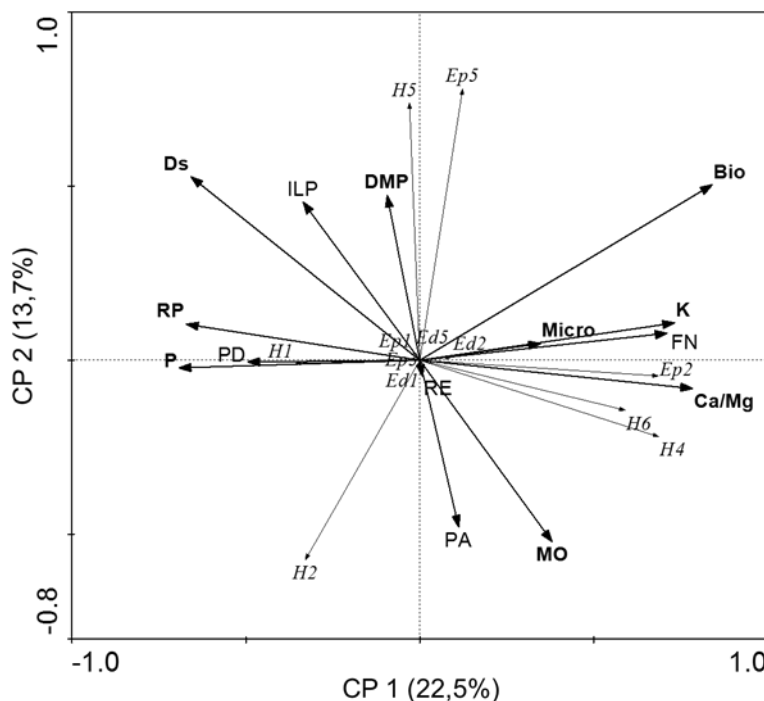
4.2.3.1 Armadilhas de queda (*Pitfall traps*)

As análises de componentes principais (ACP), para os morfotipos de coleópteros amostrados por armadilhas, tanto no inverno (Figura 3), quanto no verão (Figura 4), demonstraram distinção entre os sistemas de uso do solo, através da relação entre a componente principal 1 (CP1) e 2 (CP2).

Para a abundância de morfotipos de coleópteros, no inverno, a CP1 explicou 22,5% da variabilidade dos dados e a CP2 explicou 13,7% (Figura 3). O sistema FN, em comparação aos outros SUS (RE, ILP, PA e PD), demonstra maior relação com mais morfotipos de abundância elevada. Sistemas de manejo que realizam pouco ou nenhum revolvimento e mantêm a cobertura vegetal, tendem a preservar a estrutura do solo, especialmente em termos de diversidade da fauna edáfica (BARTZ et al. 2014b). Percebe-se, que os grupos com maior representatividade são os hemi-edáficos (H) e alguns epígeos (Ep), já os edáficos (Ed) juntamente com o sistema RE ficaram bem no centro da ordenação, demonstrando que este sistema de uso do solo apresentou baixa relação e abundância de coleópteros.

Observando as variáveis ambientais projetadas a *posteriori* na ACP da Figura 3, observa-se que a distribuição de morfotipos pode ser explicada pelas variáveis P e RP no sistema PD, em ILP pela associação aos valores dos atributos físicos DMP e Ds, em PA a MO apresentou contribuição expressiva, já em FN foram as variáveis físicas, Bio e Micro e as químicas, Ca/Mg e K, as mais representativas.

Figura 3 - Análise de componentes principais dos morfotipos de coleópteros amostrados com armadilhas (itálico) em relação aos sistemas de uso do solo, no inverno e as variáveis ambientais (negrito), utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense.



FN: floresta nativa; RE: reflorestamento de eucalipto; ILP: integração lavoura-pecuária; PA: pastagem perene; PD: plantio direto; Ed: Coleoptera edáfico; H: Coleoptera hemi-edáfico; Ep: Coleoptera epígeo; pH: potencial hidrogeniônico; P: fósforo; K: potássio; Ca/Mg: relação cálcio/magnésio; MO: matéria orgânica; DS: densidade do solo; RP: resistência a penetração; DMP: diâmetro médio ponderado de agregados; Micro: microporosidade; Bio: bioporos.

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Todos os sistemas estudados apresentaram associação com alguma característica estrutural (Figura 3), com destaque para o sistema FN e os atributos Bio e Micro. A presença de bioporos indica elevada atividade biológica no solo, principalmente de organismos da mesofauna e macrofauna (BARETTA et al., 2011; BARTZ et al., 2014b; MACHADO, 2015). Os bioporos tendem a diminuir ou desaparecer com o aumento da compactação nos sistemas (LIMA et al., 2005), o que justifica o aumento da RP no sistema PD, no lado oposto da ordenação e a menor presença de grupos eco-morfológicos de coleoptera quando comparado com FN.

A maior densidade do solo (Ds) nos sistemas PD e ILP pode ter sido causada pelo pisoteio animal, principalmente nos primeiros centímetros do perfil do solo na fase de pastejo (CONTE et al., 2011) ou por transito de máquinas e essa modificação estrutural pode provocar alterações no fluxo de água, nutrientes e consequentemente na atividade biológica (SILVEIRA et al., 2008). Contudo, quando observada a variável Ds para estas áreas na Tabela 3 (pág. 49), percebe-se que o valor $1,01 \text{ g cm}^{-3}$ não é crítico, portanto não altera de forma decisiva as condições do solo. O aumento do DMP indica que a presença de animais provavelmente contribui para a estabilização de agregados, pelo mesmo efeito citado anteriormente, ao promover a aproximação de partículas minerais, mas o aumento desse atributo físico em áreas sob pastejo não é necessariamente indicador de melhoria no estado de agregação do solo, pois solos compactados podem apresentar elevada estabilidade de agregados em água e, consequentemente, maiores valores de DMP (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990; CONTE et al., 2011).

Em relação a PA, o aumento da MO pode estar relacionado à presença constante do gado e a deposição de fezes desses animais no local. Uma consequência é que a pastagem não apresenta sub-bosque e tende a formar um habitat menos

heterogêneo, quando comparado a florestas naturais e isso pode limitar a capacidade desse sistema em atrair ou manter a fauna edáfica (CUNHA NETO et al., 2012).

No que diz respeito ao período do verão (Figura 4), a CP1 explicou 25,7% da variabilidade e a CP2 explicou 21,1%, totalizando 46,8% da variabilidade dos dados. FN ficou isolada em relação aos outros sistemas e apresentou relação com maior número de morfotipos. Em contrapartida, PA, ILP, RE e PD ficaram próximos entre si, mas pouco relacionados com a abundância de coleópteros. Novamente os grupos ecomorfológicos com mais representantes foram os epígeos (Ep) e os hemi-edáficos (H).

Quando observadas as variáveis ambientais utilizadas como explicativas na ACP, a FN apresentou os maiores valores de MO e Bio, já PA, ILP, RE e PD apresentaram maiores valores de pH, RP, Macro e relação Mg/K.

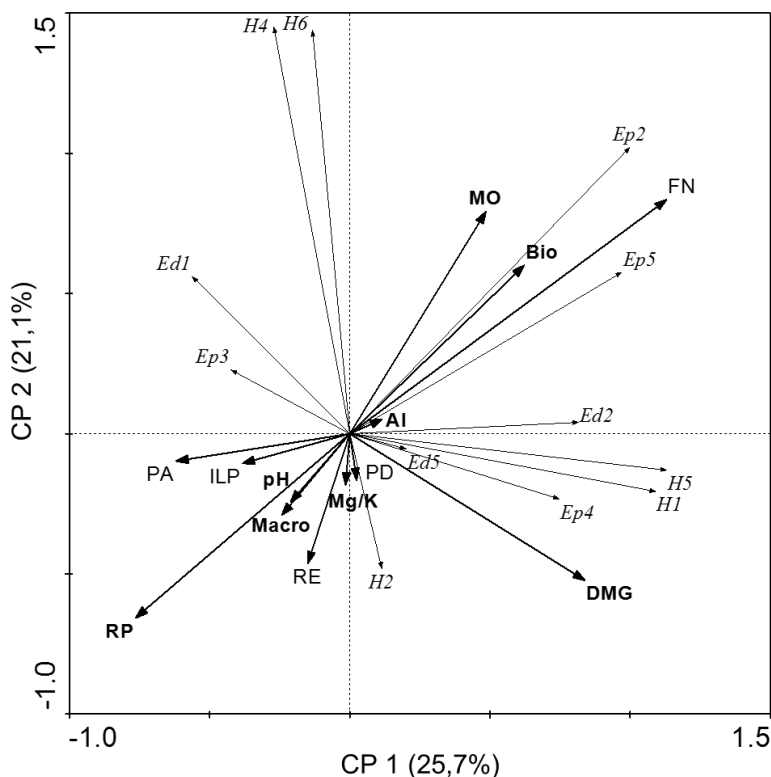
O incremento da MO depende da deposição e manutenção de resíduos orgânicos no solo (ROSA et al., 2015) e em florestas nativas há constante entrada de material vegetal e animal de diferentes espécies da flora e fauna, o que atribui qualidade e quantidade a esses resíduos. O material que compõe a serapilheira e os teores mais elevados de MO estão relacionados com o aumento da atividade e abundância da fauna edáfica (BARETTA et al., 2011). Isso pode ser explicado pela maior quantidade de matéria orgânica (Tabela 2) e de bioporos (Tabela 3) encontrados na FN.

Já a variável RP está mais relacionada com os sistemas onde há o pisoteio animal. Segundo Conte et al. (2011) há aumento de RP logo após pastejo e o pisoteio tem efeito sobre a estrutura do solo, afetando alguns atributos físicos do solo. Mas provavelmente, esse efeito não tenha restringido de forma decisiva a macroporosidade do solo (Figura 4).

O DMP e DMG, expressam o estado de agregação do solo e quanto mais perto da superfície, mais o incremento da matéria orgânica tem influência sobre essas variáveis. Nesse

caso, DMG teve relação com alguns morfotipos de Coleoptera H5, H1 e Ep4. Sabe-se que a permanência intacta dos restos de raízes, a ação da fauna na fragmentação desses resíduos e na formação de galerias, influenciam na aeração e na infiltração da água, produzindo trocas mais intensas e contribuindo para melhorar a agregação do solo, tanto em sistemas de plantio direto, quanto em florestas nativas (CASTRO FILHO et al., 2002).

Figura 4 - Análise de componentes principais dos morfotipos de coleópteros amostrados com armadilhas (itálico) em relação aos sistemas de uso do solo, no verão e as variáveis ambientais (negrito), utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense.



FN: floresta nativa; RE: reflorestamento de eucalipto; ILP: integração lavoura-pecuária; PA: pastagem perene; PD: plantio direto; Ed: Coleoptera edáfico; H: Coleoptera hemi-edáfico; Ep: Coleoptera epígeo; pH: potencial hidrogeniônico; MO: matéria orgânica; Al: alumínio; Mg/K: relação magnésio/potássio RP: resistência a penetração; Macro: macroporos; Bio: bioporos; DMG: diâmetro médio geométrico de agregados.

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

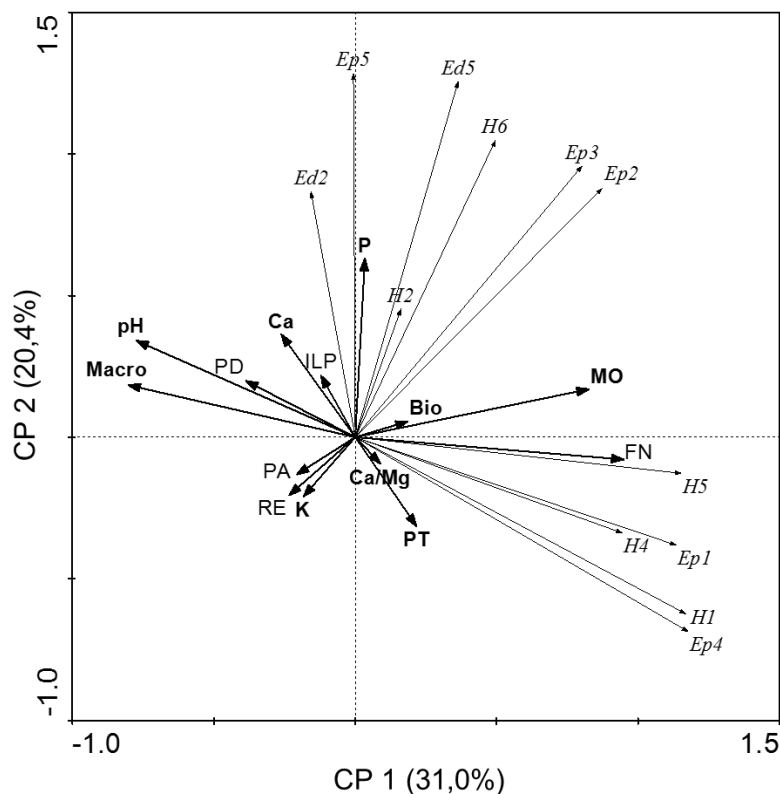
4.2.3.2 Monólitos de solo (TSBF)

Os dados de abundância dos morfotipos obtidos pelo método dos monólitos no inverno (Figura 5), observados na ACP, possuem variabilidade de 31% explicada pelo eixo da CP1 e de 20,4% no eixo da CP2. Nesta análise FN se destacou por estar relacionada com maior número de morfotipos e estes possuírem elevada abundância. Quanto ao ILP, por sua vez possui menor relação com os morfotipos, mas se destaca pela proximidade com os grupos edáficos. Já PA e RE ficaram mais isolados, demonstrando não possuírem forte relação com a abundância dos coleópteros.

Quando projetadas as variáveis ambientais, utilizadas como explicativas na ACP (Figura 5), observa-se que a maior quantidade de MO contribui para explicar a abundância de grupos em FN, enquanto os maiores valores de pH e da Macro explicam os morfotipos mais relacionados ao PD. As variáveis Ca e P ficaram com valores elevados próximos ao sistema ILP e quanto aos sistemas RE e PA ficaram mais associados a variável K, na ordenação.

O pH mais elevado e os maiores teores de Ca estão relacionados a calagem realizada nos sistemas PD e ILP, manejo necessário às culturas destes sistemas para diminuir a acidez ativa do solo. Sabe-se que a medida que se incorpora calcário no solo, aumenta-se os níveis de cálcio e magnésio, sendo estes, dependentes do tipo de calcário utilizado (CQFS, 2004). A acidez do solo é um fator determinante para o estabelecimento da maioria das culturas. O maior teor de P, pode ser explicado pela adubação realizada nos sistemas de ILP e este aumento favoreceu alguns morfotipos, principalmente os edáficos (Figura 5).

Figura 5 - Análise de componentes principais dos morfotipos de coleópteros amostrados por monólitos (itálico) em relação aos sistemas de uso do solo, no inverno e as variáveis ambientais (negrito), utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense.



FN: floresta nativa; RE: reflorestamento de eucalipto; ILP: integração lavoura-pecuária; PA: pastagem perene; PD: plantio direto; Ed: Coleoptera edáfico; H: Coleoptera hemi-edáfico; Ep: Coleoptera epígeo; pH: potencial hidrogeniônico; MO: matéria orgânica; Ca/Mg: relação cálcio magnésio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Macro: macroporos; Bio: bioporos; PT: porosidade total.

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

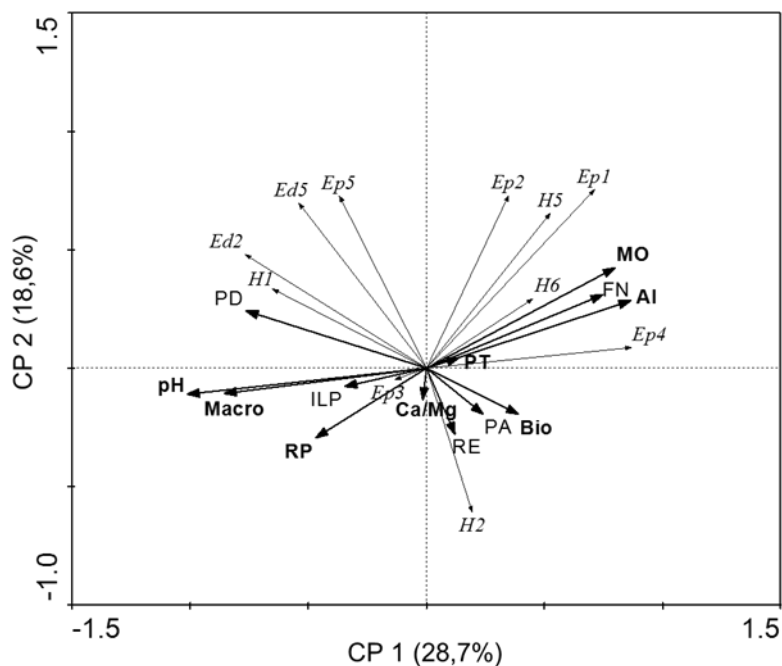
De acordo com a ACP para os morfotipos amostrados por monólitos no verão (Figura 6), a CP1 explicou 28,7% da variabilidade dos dados e a CP2 explicou 18,6%, somados, os eixos explicam 47,3% da variabilidade total. Os sistemas FN e PD se destacam por apresentar maior quantidade de morfotipos de Coleoptera. O grupo eco-morfológico edáfico (Ed) possui forte relação com o PD, quando comparado aos outros sistemas. No sistema RE há a presença marcante de um morfotipo hemi-edáfico (H), especialmente H2.

Quando observadas as variáveis ambientais na ordenação da ACP, os valores mais elevados de MO e Al estão mais associados com os morfotipos de coleópteros do sistema FN enquanto os maiores valores de pH, Macro e RP, explicaram a maior diversidade de morfotipos encontrados em PD e ILP. Já as variáveis PT e Ca/Mg tem menor destaque na ordenação para explicar condições dos sistemas e a variável Bio está associada aos sistemas PA e RE, contribuindo para explicar a correlação destes com o morfotipo H2.

Na Figura 6, ficou evidente o maior teor de Al onde não foi feita calagem, como nas áreas de floresta nativa, o oposto se observa nas áreas de PD e ILP, onde o pH é mais elevado. É possível perceber também forte relação dos morfotipos edáficos Ed2 e Ed5 com o sistema PD. Possivelmente esse grupo seja favorecido pelo manejo feito no local, principalmente em relação à adubação e calagem e isso fica mais evidente quando observamos os levantamentos feitos pelo método dos monólitos no inverno e verão, tanto para PD quanto ILP (Figura 5 e 6).

Além disso, evidenciou-se a relação do morfotipo H2 com RE, no verão (Figura 6), diferente do que ocorreu no inverno (Figura 5), onde esse sistema não apresentou relação com qualquer morfotipo. A presença do H2 pode ser explicada, em partes pela ocorrência de bioporos, não havendo associação com outros atributos edáficos.

Figura 6 - Análise de componentes principais dos morfotipos de coleópteros amostrados por monólitos (itálico) em relação aos sistemas de uso do solo, no verão e as variáveis ambientais (negrito), utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense.



FN: floresta nativa; RE: reflorestamento de eucalipto; ILP: integração lavoura-pecuária; PA: pastagem perene; PD: plantio direto; Ed: Coleoptera edáfico; H: Coleoptera hemi-edáfico; Ep: Coleoptera epígeo; pH: potencial hidrogeniônico; MO: matéria orgânica; Ca/Mg: relação cálcio magnésio; Al: alumínio; Macro: macroporos; Bio: bioporos; PT: porosidade total; RP: resistência a penetração.

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

4.2.3.3 Armadilhas de queda + monólitos de solo

Os dois métodos de amostragem de Coleoptera utilizados, apresentam limitações quanto à capacidade representativa de todos os grupos eco-morfológicos. As armadilhas capturam coleópteros móveis na superfície do solo e com tamanhos variados, abrangendo meso e macrofauna. Os monólitos de solo, retirados pelo método de monólitos, possibilitam a coleta da fauna menos móvel, que vive em profundidade no solo, mas se limitam a grupos maiores da macrofauna, visíveis a olho nu durante a triagem manual.

Considerando essas condições, as armadilhas impossibilitam amostrar indivíduos com dispersão limitada e que não possuem o hábito epígeo e a segunda pode excluir indivíduos pequenos, menores de dois milímetros, características estas fundamentais para a distinção dos morfotipos estruturais. Além disso, a amostragem por monólitos de solo possibilita a coleta da fase larval dos coleópteros a qual se atribui importante participação dentro o grupo dos organismos hemi-edáficos (PARISI et al. 2005). Portanto, a avaliação conjunta, ou seja, incluindo ambos os métodos, pode contribuir para que estes se complementem e diminuam suas restrições amostrais, permitindo uma melhor avaliação quando o objetivo é analisar a biodiversidade da fauna edáfica (POMPEO et al., 2016).

A seguir são apresentadas as análises estatísticas multivariadas considerando as abundâncias de coleópteros adultos e larvas, somados a partir dos dois métodos de amostragem e sua associação com características químicas, físicas e microbiológicas do solo. Os resultados anteriores, que avaliaram os morfotipos e as variáveis físicas e químicas do solo para os indivíduos amostrados por armadilhas e monólitos separadamente, demonstraram a importante relação da matéria orgânica com o estabelecimento dos grupos. Em vista disso, optou-se pela inclusão de atributos microbiológicos do solo, os

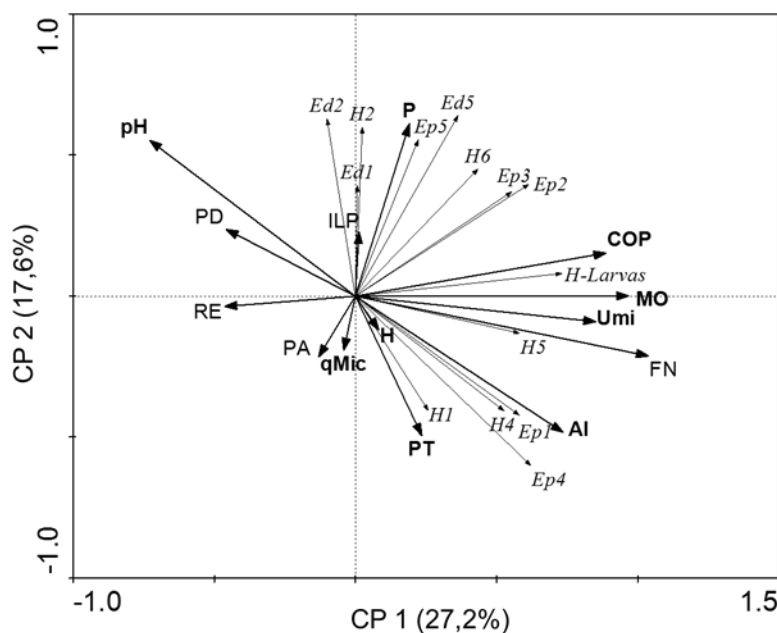
quais objetivaram examinar as interações dos insetos com a atividade da microbiota e os processos de decomposição no solo, pois sabe-se que os microrganismos, assim como a microfauna, mesofauna e a macrofauna, desempenham funções essenciais na ciclagem de nutrientes e decomposição de material orgânico no solo e a interação entre esses diferentes organismos pode sofrer efeitos benéficos ou prejudiciais nos sistemas de cultivo, pois são influenciados pelo manejo e as variáveis químicas e físicas do solo (KLADIVKO, 2001). Além disso, existem importantes relações tróficas ocorrendo abaixo da superfície que consequentemente afetam a dinâmica das populações e os processos ecossistêmicos (BARDGETT; PUTTEN, 2014).

Contudo, há estudos que mostram que alguns grupos de coleópteros herbívoros são afetados pela colonização de fungos micorrízicos em raízes de plantas, pois estes últimos ajudam a aumentar a habilidade das plantas em tolerar a herbivoria dos insetos (CURRIE et al., 2011) e esse efeito das micorrizas pode ser determinado pela alocação do carbono no interior das plantas (GANGE et al., 2005). Portanto, verifica-se que há relações entre a fauna e a microbiota em vários níveis da cadeia alimentar e muitas outras interações não discutidas no presente estudo. Sendo assim, as análises expostas a seguir buscam explorar melhor essas associações e contribuir para a explicação da composição da comunidade dos coleópteros.

Ao observar o resultado da ACP, independente do método de amostragem, no inverno (Figura 7), a variabilidade dos dados explicada pela CP1 foi de 27,2% e na CP2, 17,6%. Houve distinção entre os SUS, onde os morfotipos de Coleoptera ficaram mais distribuídos nos sistemas FN e ILP, separando os demais, PA, PD e RE do outro lado da ordenação. No inverno, os morfotipos edáficos (Ed2 e Ed5) obtiveram maior interação com o sistema ILP, relação que pode ser explicada pelas melhores condições químicas do solo como o P e pH. Já a maioria dos hemi-edáficos, incluindo as larvas, foram mais

abundantes em FN devido aos maiores valores dos atributos PT, Umi, MO, COP, Al.

Figura 7 - Análise de componentes principais dos morfotipos de coleópteros amostrados pelos métodos armadilhas + monólitos (*itálico*), em relação aos sistemas de uso do solo, no inverno e as variáveis ambientais (**negrito**), utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense.



FN: floresta nativa; RE: reflorestamento de eucalipto; ILP: integração lavoura-pecuária; PA: pastagem perene; PD: plantio direto; Ed: Coleoptera edáfico; H: Coleoptera hemi-edáfico; Ep: Coleoptera epígeo; pH: potencial hidrogeniônico; MO: matéria orgânica; P: fósforo; Al: alumínio; PT: porosidade total; COP: carbono orgânico particulado; Umi: umidade do solo; qMic: quociente microbiano; H: hidrogênio.

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Sistemas de uso com maior aporte de MO no solo, principalmente via resíduos vegetais podem incrementar os conteúdos de COT e COP e contribuir para a sustentabilidade dos ecossistemas (BRÖRING, 2013). Essa entrada de resíduos em FN está relacionada à quantidade e também à qualidade de recursos disponíveis – provenientes da maior diversidade florística da vegetação nativa – para os invertebrados edáficos, contribuindo para a manutenção destes organismos nos sistemas. Segundo Merlim et al. (2006) a redução da diversidade e densidade de larvas de Coleoptera da mata nativa de araucária para áreas manejadas, está ligada às condições edafoclimáticas, sendo que a umidade, além do material vegetal podem influenciar de forma determinante para essa variação.

No verão (Figura 8) o resultado da ACP, demonstra que na CP1 a variação dos dados foi de 24,1% e na CP2, 19,4%. FN novamente se destaca pelo maior número de morfotipos de Coleoptera. Percebe-se que as variáveis MO, Umi e COT foram as que mais contribuíram para explicar essa distribuição. Já nos demais sistemas, observa-se que alguns morfotipos apareceram mais distanciados na ordenação, fator que pode ser explicado pela participação da variável H posicionada entre FN e PD, junto aos grupos edáficos e hemi-edáficos. Houve também maiores abundâncias dos morfotipos H4, Ep3 e Ed1 associadas, em partes, a área de PA, possivelmente devido aos maiores valores de CMic e PT.

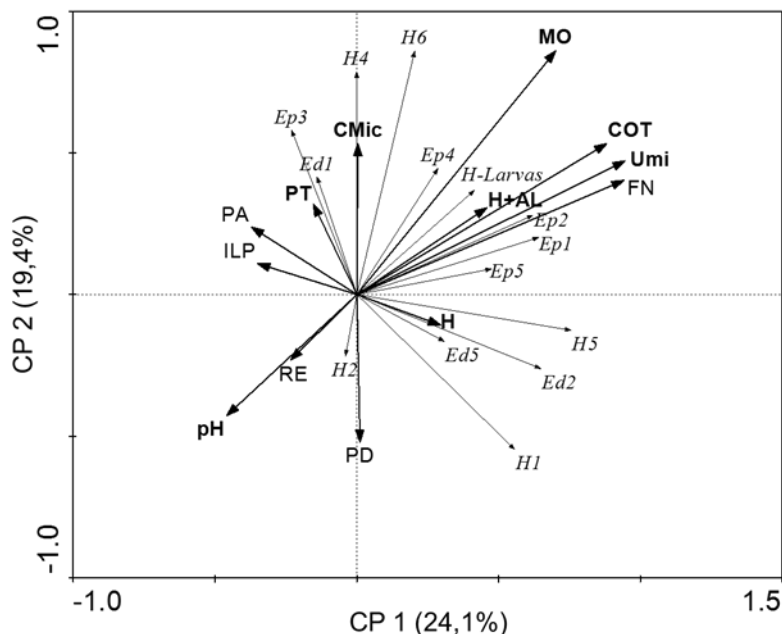
A microbiota, assim como a fauna é favorecida pela cobertura vegetal, que propicia maior acúmulo de material orgânico, fornecendo maior fonte de nutrientes para o desenvolvimento da comunidade microbiana. Com isso esperam-se valores maiores de CMic em solos de floresta ou campo nativo, quando comparados com outros usos do solo (ALVES et al., 2011), resultado este também observado na Figura 8. Segundo Kuzyakov e Blagodatskaya (2015) há aumento da biomassa microbiana e atividade dos microrganismos nos bioporos, que são formados pelo crescimento das raízes e

escavação da fauna no solo e onde são encontradas fezes desses animais que contribuem para a entrada de compostos orgânicos lábeis e recalcitrantes no sistema.

De acordo com Currie et al. (2011) os fungos micorrízicos contribuem para aumentar a tolerância das plantas as perdas de raízes promovidas por ataques de besouros herbívoros, mas também melhoram a absorção de nutrientes e a qualidade da raiz que serve como fonte de alimento para esses invertebrados.

Percebe-se, na Figura 8 que a presença de alguns grupos eco-morfológicos com adaptações edáficas como Ed1, H4 e H6 pode ter ligação com as variáveis PT e CMic, pois se deslocam em profundidade no solo, depositam suas fezes nos poros e alguns coleópteros como os hemi-edáficos podem transportar material orgânico da superfície para o interior, estimulando a ação microbiana.

Figura 8 - Análise de componentes principais, dos morfotipos de coleópteros amostrados pelos métodos armadilhas + monólitos (*itálico*), em relação aos sistemas de uso do solo, no verão e as variáveis ambientais (**negrito**), utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense.



FN: floresta nativa; RE: reflorestamento de eucalipto; ILP: integração lavoura-pecuária; PA: pastagem perene; PD: plantio direto; Ed: Coleoptera edáfico; H: Coleoptera hemi-edáfico; Ep: Coleoptera epígeo; pH: potencial hidrogeniônico; H+AL: acidez potencial; MO: matéria orgânica; PT: porosidade total; COT: carbono orgânico total; Umi: umidade do solo; CMic: carbono microbiano; H: hidrogênio.

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

4.2.4 Índice de Qualidade Biológica do Solo (QBS)

4.2.4.1 Armadilhas de queda

Os valores do índice QBS, para os grupos ecomorfológicos de coleópteros capturados pelas armadilhas (Tabela 11), no geral não seguiram o gradiente de intensificação do uso do solo. No verão, como já era esperado, a FN apresentou o valor do índice muito superior aos demais SUS, pois esta é caracterizada por manter o maior equilíbrio ecológico no solo, possui maior diversidade de resíduos e microclima mais atrativo para a fauna (BARETTA et al., 2008; RIEFF et al., 2014; MACHADO, 2015).

Tabela 11 - Índice de qualidade biológica do solo (QBS) para os grupos ecomorfológicos edáficos (Ed), hemi-edáficos (H) e epígeos (Ep) em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD) pelo método das armadilhas no inverno e verão, no Planalto Sul Catarinense.

	FN	RE	PA	ILP	PD
Inverno					
QBS Ed	0	15	0	0	0
QBS H	40	0	60	30	80
QBS Ep	41	16	20	23	14
QBS total	81	31	80	53	94
Verão					
QBS Ed	1295	90	220	30	155
QBS H	170	70	50	40	80
QBS Ep	670	79	95	177	160
QBS total	2135	239	365	247	395

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

No inverno a FN apresentou índice inferior ao PD (Tabela 11), isso pode ter ocorrido devido algum fator que alterou a estabilidade dos coleópteros na floresta. É evidente também que no inverno os índices são muito baixos em todos os sistemas, principalmente referente ao grupo dos indivíduos edáficos. Talvez as baixas temperaturas características dessa região, tenham inibido a movimentação de alguns organismos na superfície do solo.

Em ambas as épocas o PD apresenta maiores valores de QBS em relação ao PA, seguido de ILP e os menores valores em RE. O RE não possui diversidade florística, sendo formado por apenas uma espécie exótica e isso reduz a qualidade da serapilheira e a disponibilidade de recursos para a fauna edáfica (CUNHA NETO et al., 2012). Em contrapartida a PA mantém a cobertura vegetal nativa e acumula mais MO (Tabela 2) no solo, fatores que possivelmente influenciaram o maior índice neste sistema (MACHADO, 2015).

Considerando os morfotipos utilizados parcialmente para obtenção do índice QBS, alguns foram mais representativos em seu grupo ecomorfológico (Tabela 12). Para o QBS edáfico (Ed), houve apenas um morfotipo para o inverno, amostrado nas armadilhas, o Ed2 (Tabela 12). Já no verão, os mais representativos foram Ed2 e Ed5, juntos representam mais de 80% do valor do índice em cada sistema. Os morfotipos hemi-edáficos de maior representatividade no inverno foram, H1 e H2, juntos possuem mais de 66% do QBS total em cada SUS, exceto para FN. O mesmo ocorreu no verão, onde esses mesmos morfotipos obtiveram maior destaque, com QBS maior de 75% em cada sistema, com exceção do FN, melhor representado por H1 e H5, que juntos representaram 71% do índice total deste mesmo SUS.

Em relação aos morfotipos epígeos, os mais representativos tanto no inverno quanto no verão foram o Ep2 e o Ep5 que juntos possuem mais de 94% do QBS total para esse grupo.

Tabela 12 - Índice de qualidade biológica do solo (QBS) dos morfotipos mais representativos, amostrados com armadilhas, em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no inverno e verão, no Planalto Sul Catarinense.

FN	RE	PA	ILP	PD
Edáficos (Ed) inverno				
Ed2 15				
Outros 0	0	0	0	0
Edáficos (Ed) verão				
Ed2 1260	Ed2 75	Ed2 165	Ed2 15	Ed2 105
Ed1 20	Ed5 15	Ed1 40	Ed5 15	Ed5 30
Outros 15	0	15	0	Ed1 20
Hemi-edáficos (H) inverno				
H1 20		H1 40	H1 10	H1 60
H4 10		H2 10	H2 10	H2 10
Outros 10	0	10	10	10
Hemi-edáficos (H) verão				
H1 80	H1 60	H1 30	H1 20	H1 80
H5 40	H2 10	H2 10	H2 10	
Outros 50	0	10	10	0
Epígeos (Ep) inverno				
Ep5 26	Ep5 11	Ep2 15	Ep5 23	Ep5 9
Ep2 15	Ep2 5	Ep5 5		Ep2 5
Outros 0	0		0	0
Epígeos (Ep) verão				
Ep2 505	Ep2 40	Ep2 65	Ep5 107	Ep2 115
Ep5 155	Ep5 29	Ep3 20	Ep2 50	Ep5 45
Outros 10	10	10	20	0

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Os morfotipos edáficos (Ed2 e Ed5) possuem características como dimensão inferior a 2 mm, tegumento fino, asas membranosas reduzidas ou ausentes, olhos reduzidos ou ausentes (Anexo A), características que podem limitar sua sobrevivência na superfície do solo, sua presença e/ou dominância indica pouca alteração ao longo do perfil do solo. Os hemi-edáficos (H1 e H2) possuem a característica comum, que atribui caráter mais edáfico, a dimensão inferior a 2 mm, talvez essa característica não seja limitante para sua movimentação no solo, pois se trata de um grupo que vive em camadas mais superficiais, com um poder de dispersão relativamente maior que os edáficos. Finalmente o grupo dos epígeos (Ep) os morfotipos Ep2 e Ep5 possuem dimensão maior que 2 mm, asas membranosas e olhos desenvolvidos (Anexo A), vivem na serapilheira e possuem grande poder de locomoção e voo.

4.2.4.2 Monólitos de solo

Nos resultados de QBS obtidos pelo método dos monólitos de solo (Tabela 13) no inverno, a FN apresentou maior índice, seguido de ILP, PA, PD e RE, respectivamente. A maioria das áreas com PD permanecem em pousio durante o inverno, motivo pelo qual provavelmente esse sistema tenha ficado em penúltima posição, já ILP mantém cobertura vegetal nesta estação. No verão, a FN obteve índice inferior a ILP, seguido de PD, PA e RE, respectivamente.

Não há fatores evidentes que justifiquem maior QBS em ILP em relação ao sistema FN, supõem-se que condições microclimáticas mais favoráveis tenham influenciado neste resultado ou então atributos químicos do solo mais favoráveis aos organismos, decorrentes da calagem e do aporte de matéria orgânica, contribuíram para a permanência dos grupos mais edáficos e hemi-edáficos em ILP no verão. Em geral a maior qualidade do solo é atribuída a áreas com vegetação nativa, mas

em estudo realizado na Europa por Mohamedova e Lecheva (2013), também foi encontrado maior valor de QBS em áreas cultivadas, sugerindo que em certos casos esses sistemas podem ser apropriados para as comunidades de microartrópodes.

Em RE (Tabela 13) o índice manteve-se inferior nas duas épocas, como ocorreu com o resultado encontrado nas armadilhas (Tabela 11). Possivelmente, ao contrário da monocultura, os demais sistemas foram favorecidos pela maior diversidade vegetal e de nichos. Além disso, deve-se considerar que a FN não possui grande intervenção antrópica e os outros SUS apresentam alterações nos atributos químicos e físicos (Tabelas 2 e 3), quando comparados ao RE.

Tabela 13 - Índice de qualidade biológica do solo (QBS) para os grupos ecomorfológicos edáficos (Ed), hemi-edáficos (H) e epígeos (Ep) em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD) pelo método dos monólitos no inverno e verão, no Planalto Sul Catarinense.

	FN	RE	PA	ILP	PD
	Inverno				
QBS Ed	90	0	75	75	195
QBS H	380	70	240	260	30
QBS Ep	293	97	67	146	62
QBS total	763	167	382	481	287
	Verão				
QBS Ed	30	0	30	60	210
QBS H	170	90	100	410	60
QBS Ep	244	79	80	74	143
QBS total	444	169	210	544	413

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Os morfotipos mais expressivos no método dos monólitos de solo foram o Ed2 e Ed5 (Tabela 14), tanto no inverno quanto no verão. No sistema RE não houve presença de morfotipos edáficos. Os semi-edáficos de maior destaque no inverno foram H1, H5 e H6, juntos representaram mais de 73% do QBS em cada SUS, exceto em RE, onde o H2 junto com o H5 foram os mais representativos.

No verão os morfotipos H1 e H6 apresentaram os maiores índices, que somados dispõem mais de 66% do total para cada sistema. Na FN o H5 obteve participação significativa no valor total do índice, e juntamente com o H6 representou 88% do total. Os coleópteros epígeos Ep2 e Ep4, tanto no inverno quanto no verão, representaram juntos mais de 69% do QBS total em FN, RE e PA. Já em ILP e PD o Ep5 obteve maior valor, junto com o Ep2 (Tabela 14).

Tabela 14 - Índice de qualidade biológica do solo (QBS) dos morfotipos mais representativos, amostrados por monólitos, em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no inverno e verão no Planalto Sul Catarinense.

FN	RE	PA	ILP	PD
Edáficos (Ed) inverno				
Ed5 60		Ed5 75	Ed5 40	Ed2 105
Ed2 30			Ed2 30	Ed5 90
Outros 0	0	0	0	0
Edáficos (Ed) verão				
Ed5 30		Ed5 30	Ed5 30	Ed5 135
			Ed2 30	Ed2 75
Outros 0	0	0	0	0
Hemi-edáficos (H) inverno				
H6 230	H2 40	H6 220	H6 230	H6 20
H1 50	H5 20	H1 10	H1 10	H5 10
Outros 100	10	10	20	0
Hemi-edáficos (H) verão				
H6 100	H6 30	H6 90	H6 400	H1 40
H5 50	H1 30	H1 10	H1 10	H6 10
Outros 20	30	0	0	10
Epídeos (Ep) inverno				
Ep4 145	Ep2 50	Ep4 35	Ep2 75	Ep2 30
Ep2 105	Ep4 30	Ep2 20	Ep5 36	Ep5 22
Outros 43	17	12	35	10
Epígeos (Ep) verão				
Ep2 160	Ep2 40	Ep4 35	Ep5 44	Ep2 100
Ep4 40	Ep4 15	Ep2 30	Ep2 30	Ep5 38
Outros 44	24	15	0	5

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

4.2.4.3 Armadilhas de queda + monólitos de solo

Os resultados do QBS obtidos em ambos métodos de coleta (soma das abundâncias em armadilhas e monólitos) e considerando a fase larval (Tabela 15), demonstram, assim como as análises das tabelas anteriores, que a redução dos valores totais do índice não seguem um gradiente de intensidade de uso do solo (FN > RE > PA > ILP > PD).

Para as larvas de insetos holometabólicos, como é o caso da ordem Coleoptera, atribui-se valor EMI de 10, ou seja, são consideradas intermediárias, pois sua pontuação é proporcional ao grau de especialização para a vida no solo (PARISI et al., 20005; MOHAMEDOVA; LECHEVA, 2013).

As larvas, ao todo, proporcionaram aumento considerável ao QBS do grupo hemi-edáfico (H) e melhoraram a condição do sistema RE quando comparada aos resultados encontrados separadamente, pois no inverno a menor qualidade biológica, de acordo com o índice, foi do PD. Já no verão, RE permaneceu com o menor valor (Tabela 15).

Tanto no inverno quanto no verão a FN manteve-se superior aos demais sistemas de manejo seguido de ILP. Neste último, a manutenção da cobertura vegetal pode ter favorecido o habitat para os grupos eco-morfológicos, principalmente os hemi-edáficos. ILP também demonstrou valores de QBS elevados na análise feita com amostragem apenas por TSBF (Tabela 13) e como já discutido as condições químicas e quantidade de matéria orgânica também podem ter favorecido este resultado. Esse sistema pode apresentar maior abundância da fauna edáfica, quando comparado a sistemas perenes como RE e PA (BARTZ et al. 2014b)

Tabela 15 - Índice de qualidade biológica do solo (QBS) para os grupos ecomorfológicos edáficos (Ed), hemi-edáficos (H) e epígeos (Ep) em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD) independente de método de amostragem e fase de vida de Coleoptera, no inverno e verão, no Planalto Sul Catarinense.

	FN	RE	PA	ILP	PD
Inverno					
QBS Ed	90	15	75	75	215
QBS H	2020	720	960	1500	380
QBS Ep	334	113	87	169	76
QBS total	2444	848	1122	1744	671
Verão					
QBS Ed	1325	90	250	90	365
QBS H	1040	500	420	1990	560
QBS Ep	914	158	175	252	303
QBS total	3279	748	845	2332	1228

Fonte: Produção do próprio autor, 2016

4.2.5 Média ponderada do valor do *trait* na comunidade (mT)

A análise dos valores de mT fornece uma perspectiva diferente em relação ao índice QBS, pois leva em consideração o total de organismos de cada sistema, ou seja, a abundância relativa dos morfotipos. Na Tabela 16, os valores de mT para o método dos monólitos de solo no inverno, variaram de 4,1 em RE a 7,3 em PA, já no verão os valores demonstraram menor variação, de 5,2 em PD a 5,8 em PA.

Na maioria dos sistemas a distribuição de abundâncias para os morfotipos de Coleoptera, manteve-se muito similar, com exceção de RE e ILP, o que leva a crer que os maiores números de coleópteros ficaram distribuídos em poucos morfotipos e esses detinham menor pontuação de EMI, ou seja, menos edáficos.

Tabela 16 - Média ponderada do trait (mT), \pm desvio padrão, total de grupos ecomorfológicos (N_MF), número de morfotipos edáficos (N_Ed), hemi-edáficos (N_H) e epígeos (N_Ep), em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD) pelo método dos monólitos no inverno e verão, no Planalto Sul Catarinense.

	FN	RE	PA	ILP	PD
Inverno					
mT	6,75 \pm 0,58	4,17 \pm 0,38	7,35 \pm 1,48	5,40 \pm 0,75	6,24 \pm 0,86
N_MF	12	6	7	10	7
N_Ed	2	0	1	2	2
N_H	5	3	3	4	2
N_Ep	5	3	3	4	3
Verão					
mT	5,62 \pm 0,63	5,28 \pm 0,37	5,83 \pm 0,80	5,73 \pm 1,60	5,23 \pm 0,60
N_MF	9	9	7	6	8
N_Ed	1	0	1	2	2
N_H	3	4	2	2	3
N_Ep	5	5	4	2	3

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Já na Tabela 17, para o método das armadilhas, no inverno, os valores mT apresentaram maiores diferenças entre

os sistemas, variando de 2,04 em ILP e 5,7 em PA. A mesma dissimilaridade ocorreu no verão, onde ILP apresentou mT de 1,9 e PA de 7,9. Como discutido anteriormente, isso demonstra uma discrepância em relação à distribuição das abundâncias de coleópteros pelos diferentes morfotipos.

Tabela 17 - Média ponderada do trait (mT), \pm desvio padrão, total de grupos eco-morfológicos (N_MF), número de morfotipos edáficos (N_Ed), hemi-edáficos (N_H) e epígeos (N_Ep), em Floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD) pelo método das armadilhas, no inverno e verão no Planalto Sul Catarinense.

	FN	RE	PA	ILP	PD
Inverno					
mT	2,45 \pm 0,21	2,38 \pm 0,39	5,71 \pm 0,99	2,04 \pm 0,25	5,22 \pm 1,28
N_MF	5	3	5	4	5
N_Ed	0	1	0	0	0
N_H	3	0	3	3	3
N_Ep	2	2	2	1	2
Verão					
mT	5,91 \pm 1,06	4,59 \pm 0,51	7,93 \pm 1,09	1,94 \pm 0,26	4,59 \pm 0,46
N_MF	11	8	9	8	6
N_Ed	3	2	3	2	3
N_H	5	2	3	3	1
N_Ep	3	4	3	3	2

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

4.3 FAMÍLIAS DE COLEOPTERA

4.3.1 Riqueza de famílias de Coleoptera

Os coleópteros foram identificados em 32 famílias, sendo, 26 identificadas a partir das coletas feitas pelo método das armadilhas de queda e 24 por monólitos de solo. Destas, 18 tiveram ampla ocorrência, ou seja, foram amostradas por ambos os métodos, enquanto oito ocorreram apenas em armadilhas e seis exclusivamente pelo método dos monólitos (Tabela 18).

Os dados apresentados na Tabela 18, indicam que a amostragem realizada a partir dos dois métodos de coleta, independente do SUS, pode ajudar a representar melhor a riqueza de famílias de Coleoptera, contribuindo para estudos ecológicos envolvendo a avaliação da diversidade taxonômica desses invertebrados. Favero et al. (2011) estudando área de “Cordilheiras” no Mato Grosso do Sul (MS), identificaram dez famílias em seu estudo de áreas em regeneração, com *Pitfall traps*, valor bem menor do que as famílias encontradas no presente estudo. Garlet et al. (2015) encontraram sete famílias em áreas com plantio de eucalipto, em Santa Maria no Rio Grande do Sul, com o uso de armadilhas de solo. Portilho et al. (2011) amostraram seis famílias em diferentes sistemas de uso do solo, pelo método dos monólitos do TSBF no MS. Segundo estes mesmos autores, as famílias mais abundantes identificadas, em seus trabalhos, foram Scarabaeidae e Staphylinidae, mesmo resultado encontrado no presente estudo (Figuras 9 e 10).

No inverno, pelo método das armadilhas (Figura 9a), a família Scarabaeidae apresentou maior frequência de indivíduos, já no verão (Figura 9b) foi a família Staphylinidae que obteve maior destaque. Em ambas as épocas a família Carabidae foi mais representativa no sistema ILP e Staphylinidae em RE.

Com o método dos monólitos (Figuras 10a e 10b), Staphylinidae foi o grupo taxonômico mais participativo nas

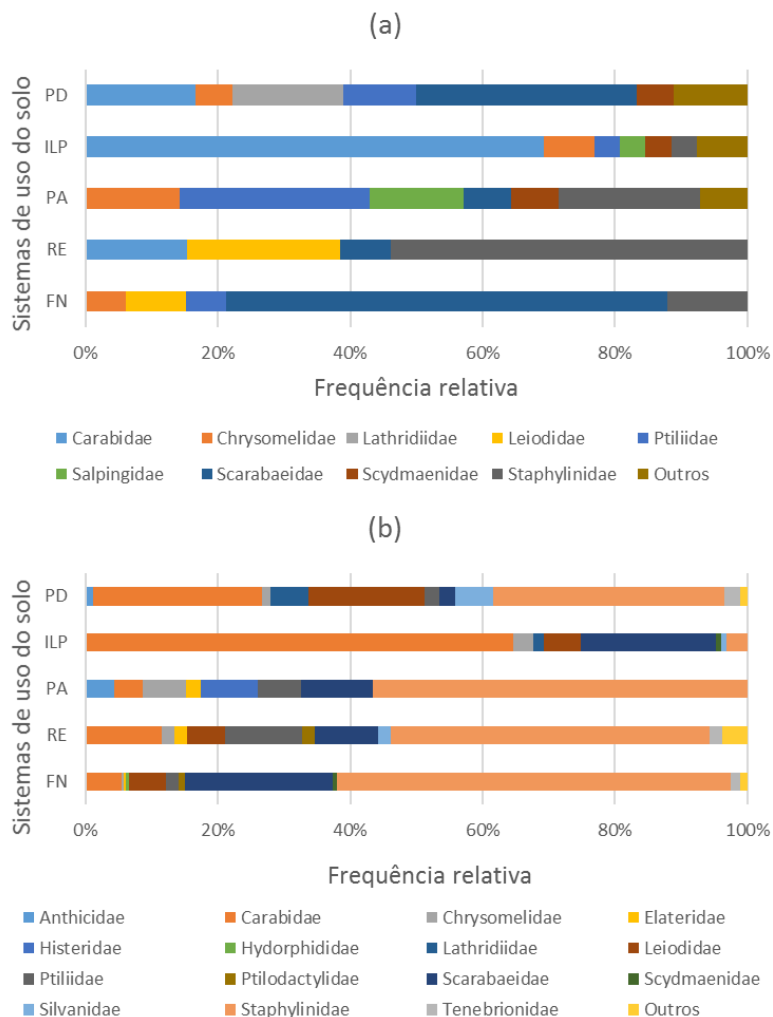
duas épocas. Quando observadas as frequências relativas das famílias nas duas amostragens e épocas de coleta, percebe-se que juntamente com Staphylinidae e Scarabaeidae, a família Carabidae foi bastante representativa, principalmente nos sistemas PD e ILP.

Tabela 18 - Famílias e número de indivíduos de Coleoptera (Nº ind.) amostrados por armadilhas e monólitos, independente do sistema de uso do solo e épocas de coleta, no Planalto Sul Catarinense.

Famílias de Ampla ocorrência	Nº ind.	Famílias exclusivas em Armadilhas	Nº ind.	Famílias exclusivas em Monólitos	Nº ind
Staphylinidae	660	Histeridae	4	Pselaphidae	12
Carabidae	304	Hydrophididae	2	Anobiidae	7
Scarabaeidae	185	Brentidae	1	Phalacridae	5
Leiodidae	57	Cerambycidae	1	Dryopidae	2
Chrysomelidae	52	Corylophidae	1	Cicindelidae	1
Ptiliidae	28	Malachiidae	1	Eucnemidae	1
Tenebrionidae	21	Nitidulidae	1	---	---
Scydmaenidae	19	Tetratomidae	1	---	---
Silvanidae	18	---	---	---	---
Ptilodactylidae	13	---	---	---	---
Lathridiidae	11	---	---	---	---
Anthicidae	6	---	---	---	---
Curculionidae	6	---	---	---	---
Elateridae	5	---	---	---	---
Chelonariidae	4	---	---	---	---
Salpingidae	4	---	---	---	---
Scaphidiidae	2	---	---	---	---
Lagriidae	2	---	---	---	---
Total	1397		12		28

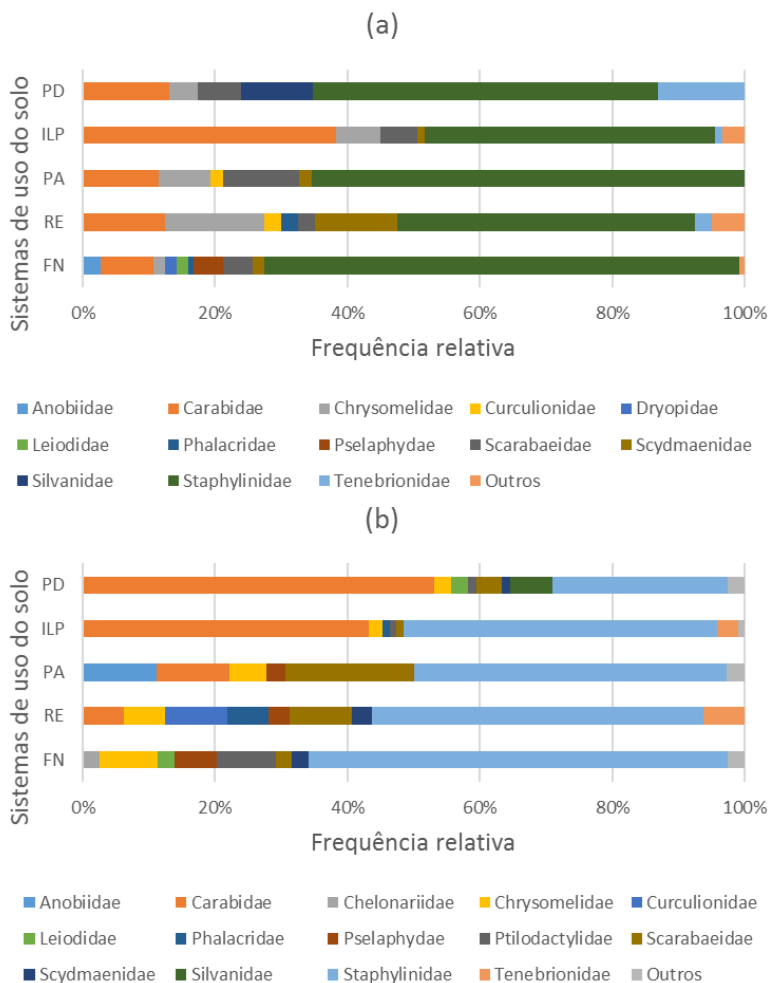
Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Figura 9 - Frequência relativa de famílias de Coleoptera amostrados por armadilhas no inverno (a) e verão (b), em sistemas de floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no Planalto Sul Catarinense.



Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Figura 10 - Frequência relativa de famílias de Coleoptera amostradas por monólitos no inverno (a) e verão (b), em sistemas de floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no Planalto Sul Catarinense.



Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

As famílias Staphylinidae e Carabidae são importantes agentes de controle biológico e relacionados com ambientes mais complexos, naturais, como florestas nativas e sensíveis a alteração microclimática, pois a temperatura e a umidade do solo são fatores que regulam sua distribuição (MARTINS et al., 2009; GARLET et al., 2015). Já o elevado número de coleópteros escarabeídeos (Scarabaeidae), principalmente em FN pode estar associado a maior disponibilidade de recursos florísticos e o elevado número de espécies de plantas que produzem frutos atrativos a fauna mamífera, atraem também coleópteros específicos, pois as fezes deixadas por esses mamíferos em grandes quantidades, estão relacionadas a presença marcante de alguns grupos de Scarabaeidae (FAVERO; SOUZA; OLIVEIRA, 2011). Portanto, a participação destas famílias pode indicar condições mais estáveis de habitat nos SUS.

4.3.2 Diversidade de famílias de Coleoptera

Os maiores valores de diversidade de Shannon-Wiener (H') e equabilidade de Pielou (J) das famílias de coleópteros (Tabela 19) foram observados em RE, nas duas épocas do ano, pelo método de amostragem dos monólitos de solo quando avaliado separadamente. Apenas para os coleópteros amostrados por armadilhas, no período do verão, os maiores índices foram obtidos em PD e no inverno em PA, seguidos de RE. Esses resultados demonstram que o sistema FN não obteve maior diversidade de famílias frente aos demais SUS como esperava-se e, provavelmente, a intervenção antrópica e entrada de animais de produção sem controle de gestão nos fragmentos florestais, podem trazer perdas para a diversidade de famílias de coleópteros. Esse mesmo comportamento não foi observado para diversidade de morfotipos de Coleoptera, que foi maior na FN quando amostrados por monólitos no inverno em comparação aos outros SUS (Tabela 10 pág. 65). Mas, assim

como para a diversidade de morfotipos, a PA demonstrou maior diversidade para famílias, quando a amostragem foi por armadilhas.

Tabela 19 - Valores dos índices de diversidade de Shannon-Wiener (H') e equabilidade de Pielou (J) para famílias de Coleoptera, em floresta nativa (FN), reflorestamento de eucalipto (RE), pastagem perene (PA), integração lavoura-pecuária (ILP) e plantio direto (PD), no Planalto Sul Catarinense.

	FN	RE	PA	ILP	PD
Armadilhas inverno					
H'	1,08	1,16	1,81	1,15	1,08
J	0,47	0,50	0,79	0,50	0,47
Armadilhas verão					
H'	1,28	1,74	1,49	1,13	1,77
J	0,46	0,63	0,54	0,41	0,64
Monólitos inverno					
H'	1,18	1,68	1,12	1,29	1,43
J	0,45	0,64	0,43	0,49	0,54
Monólitos verão					
H'	1,36	1,70	1,52	1,10	1,38
J	0,50	0,63	0,56	0,41	0,51

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Em estudo realizado por Medri e Lopes (2001), em áreas de floresta nativa e pastagem no Estado do Paraná, os autores encontraram valores de 1,90 e 2,01 para H' nestas áreas respectivamente, com famílias de coleópteros amostrados por armadilhas, demonstrando valor elevado para área de pastagem, no índice de diversidade, assim como no presente estudo. Portilho et al. (2011) associaram as melhores condições de

diversidade de coleópteros aos sistemas com rotação de culturas como ILP e PD, quando amostrados por monólitos de solo, indicando que sistemas conservacionistas e bem manejados favorecem o equilíbrio dinâmico de famílias de Coleoptera no solo.

4.3.3 Análise de composição de comunidades de famílias de Coleoptera

As ACPs para os coleópteros amostrados por armadilhas e monólitos de solo, tanto no inverno, quanto no verão (Figuras 11, 12, 13 e 14), demonstraram distinção entre os sistemas de uso do solo, através da relação entre a CP1 e CP2. Portanto, optou-se por realizar uma ACP para cada método e época de coleta, além da avaliação conjunta.

4.3.3.1 Armadilhas de queda

De acordo com a ACP para as famílias amostradas por armadilhas no inverno (Figura 11), o eixo da CP1 explicou 26,0% da variabilidade dos dados e o eixo da CP2 17,6%, somados os eixos explicaram 43,6% da variabilidade total. As famílias Leiodidae e Staphylinidae ficaram mais associadas com os sistemas RE e FN e MO e Bio, sendo estes atributos os que mais contribuíram para explicar essa variação. Já as famílias Salpingidae, Carabidae e Scydmaenidae tiveram maior relação com ILP e PA, enquanto Lathridiidae, Scarabaeidae e Ptiliidae com o PD (Figura 11).

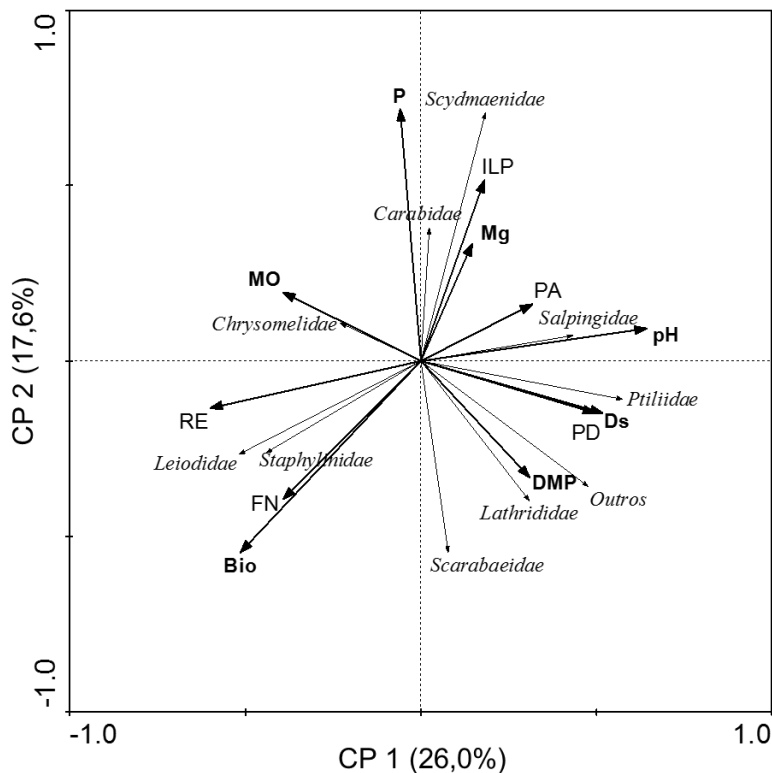
A família Leiodidae em sua maioria tem hábito alimentar fungívoro e se alimenta de fungos presentes em material em decomposição no solo, madeiras, inclusive em tocas de outros animais e algumas espécies são adaptadas a viver em ninhos de abelhas (BEZERRA; PERUQUETTI; KERR, 2000).

Os coleópteros da família Staphylinidae vivem como saprófagos, na matéria orgânica vegetal ou animal e sua forte

relação com a matéria orgânica já foi evidenciada em outros trabalhos (MUELLER et al., 2016), além de ser muito sensíveis às alterações microclimáticas. Esses fatores podem ter contribuído para a maior relação desta família e também Leiodidae com as florestas, que possuem menor intensificação de uso do solo e geralmente favorecem um microclima mais estável.

A família Ptiliidae, compreende os menores besouros conhecidos, com espécies medindo menos de 1 mm de comprimento, ou até espécies menores que a metade desse tamanho (POLILOV, 2015). Os Ptilideos vivem onde há matéria orgânica em decomposição e geralmente se alimentam de esporos de fungos que encontram em material vegetal apodrecido, formigueiros, etc. É uma família muito abundante e se distribui amplamente por todo o mundo (MAKJA; SÖRRENSON, 2010). Por essas características ecológicas e tamanho típico de mesofauna, sua ocorrência, no presente estudo, pode ser explicada pela Ds e também estar correlacionada ao estado de agregação do solo, representada pela variável DMP na Figura 11.

Figura 11 - Análise de componentes principais, das famílias de coleópteros amostrados por armadilhas (itálico) em relação aos sistemas de uso do solo, no inverno e as variáveis ambientais (negrito) utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense.



FN: floresta nativa; RE: reflorestamento de eucalipto; PA: pastagem perene; ILP: integração lavoura-pecuária; PD: plantio direto; MO: matéria orgânica; Bio: bioporos; DMP: diâmetro médio ponderado de agregados; Ds: densidade do solo; pH: potencial hidrogeniônico; P: fósforo; Mg: magnésio.

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Na ACP para as famílias amostradas por armadilhas no verão (Figura 12), o eixo da CP1 explicou 33,4% da

variabilidade dos dados e o eixo da CP2 18,1%. A maior parte das famílias de Coleoptera ficaram relacionadas com o sistema FN e associadas com a variável DMG. A PA apresentou maior associação com as famílias Chrysomelidae e Histeridae explicada pelos maiores valores de PT. O PD ficou mais relacionado com as famílias Lathridiidae, Silvanidae e Carabidae devido aos maiores valores de P e pH SMP. Já o RE ficou na posição central e por isso obteve menor participação na ordenação. A variável DMG ajudou na explicação do elevado número de famílias, dando destaque a Scarabaeidae e Pitiliidae.

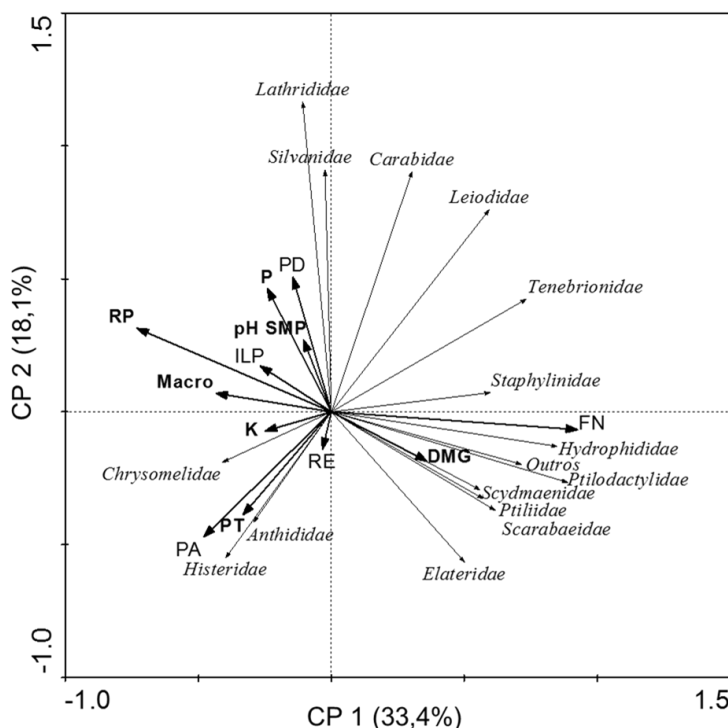
No verão a FN ficou associada a uma grande diversidade de famílias, com variados hábitos alimentares, como fitófagas, coprófagas, predadoras, saprófagas, entre outros, que ocupam nichos tróficos diferenciados. A família dos tenebrionídeos (Tenebrionidae), possuem espécies fitófagas, coprófagas, predadoras, enquanto Carabidae possui espécies predadoras com hábitos noturnos, que procuram suas presas sobre a vegetação rasteira e outras tem hábitos subterrâneos. A família Ptilodactylidae, em sua maioria, são saprófagos e vivem em áreas mais úmidas; já Scarabaeidae, tem hábitos muito variados, sendo coprófagos, saprófagos, fitófagos, entre outros (LIMA, 1952-55).

Além disso, as famílias podem interagir com o meio onde vivem de formas distintas, por exemplo, os besouros da família Scarabaeidae promovem a fragmentação e transporte do material orgânico e sua movimentação para diferentes locais pode contribuir para melhorar a aeração do solo e o estado de agregação, características no presente estudo associadas a FN e ao atributo DMG (Figura 12).

A família Histeridae é predadora tanto na fase larval quanto na fase adulta e utiliza diferentes ambientes para se alimentar e os recursos em decomposição atraem os detritívoros que compõem parcela importante da alimentação desse grupo. Portanto, são atraídos por fezes de animais em busca de larvas de outros invertebrados. Sua presença em PA (Figura 12) pode

ser condicionada por atuarem como predadores e associados aos maiores de PT, ligado ao seu papel como agentes de manejo físico (LOPES et al., 2006).

Figura 12 - Análise de componentes principais, das famílias de coleópteros amostrados por armadilhas (itálico) em relação aos sistemas de uso do solo, no verão e as variáveis ambientais (negrito) utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense.



FN: floresta nativa; RE: reflorestamento de eucalipto; PA: pastagem perene; ILP: integração lavoura-pecuária; PD: plantio direto; PT: porosidade total; Macro: macroporos; DMG: diâmetro médio geométrico de agregados; RP: resistência a penetração; pH SMP: acidez potencial em solução tampão SMP; K: potássio.

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

4.3.3.2 *Monólitos de solo*

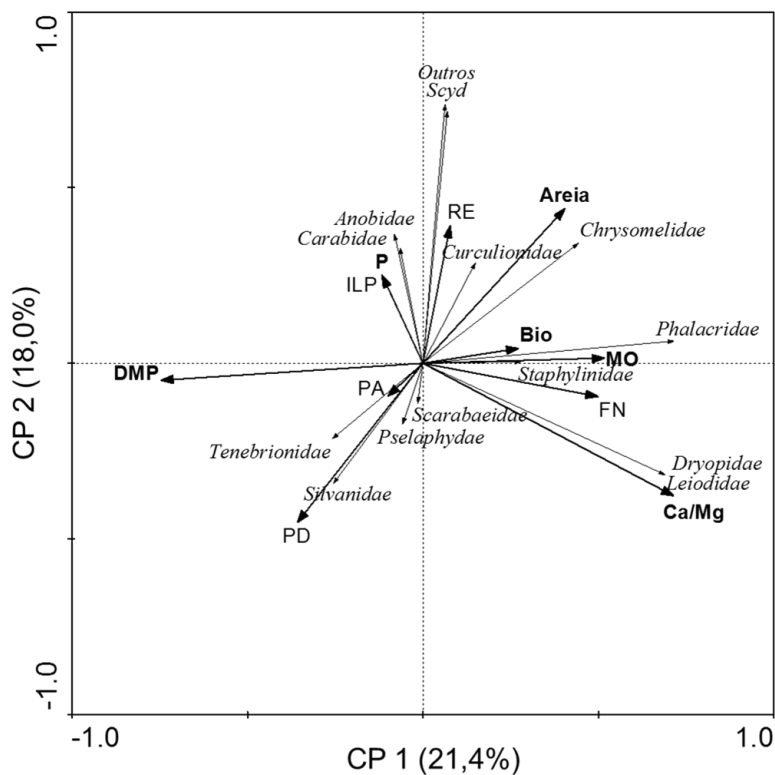
De acordo com a ACP para as famílias amostradas por monólitos, no inverno (Figura 13), a CP1 explicou 21,4% da variabilidade dos dados e a CP2 18%. Os sistemas RE e FN tiveram relação com maior número de famílias de Coleoptera, dentre elas, Staphylinidae, Leiodidae e Chrysomelidae, devido as melhores condições de MO e Bio. Os sistemas PA e PD ficaram posicionados no canto inferior esquerdo da ordenação, juntamente com as famílias Scarabaeidae, Silvanidae, Tenebrionidae e Pselaphidae. Já ILP ficou próximo a Carabidae e Anobiidae, com maiores valores de P em comparação aos demais SUS.

No verão, com a amostragem por monólitos de solo, a explicação da variabilidade dos dados para a CP1 foi de 22,5% e no eixo da CP2 de 16% (Figura 14). Nesta época, a FN ficou separada dos outros SUS e apresentou interação com maior número de famílias, como Staphylinidae, Chrysomelidae e Leiodidae. Essa variação pode ser explicada pelas melhores condições de MO e PT. Já Carabidae ficou mais próxima do sistema PD e dos atributos P e pH. Nos sistemas ILP e RE, houve associação mais fraca com Tenebrionidae, enquanto PA com alguns grupos como Scarabaeidae.

A família Carabidae, em sua maioria, é composta por indivíduos sensíveis as mudanças antrópicas e podem ser considerados indicadores do impacto de cultivos, sendo negativamente afetados pela agricultura intensiva, controle mecanizado de ervas daninhas e pelo fogo, mas alguns grupos são mais generalistas e toleram perturbações ambientais, enquanto outros aumentam sua ocorrência com a adubação do solo (VARCHOLA; DUNN, 1999; BÜCHS, 2003; WINK et al., 2005). Dessa forma, as condições do solo em PD no verão, podem ter favorecido alguns grupos específicos de Carabidae (Figura 13).

Martins et al. (2012) verificaram em seu estudo realizado em São Paulo, que áreas de plantio direto e fragmento florestal têm maior diversidade de Carabidae e Staphylinidae, quando comparadas com área de plantio convencional, demonstrando que a composição da vegetação é fundamental para a distribuição destes coleópteros do solo.

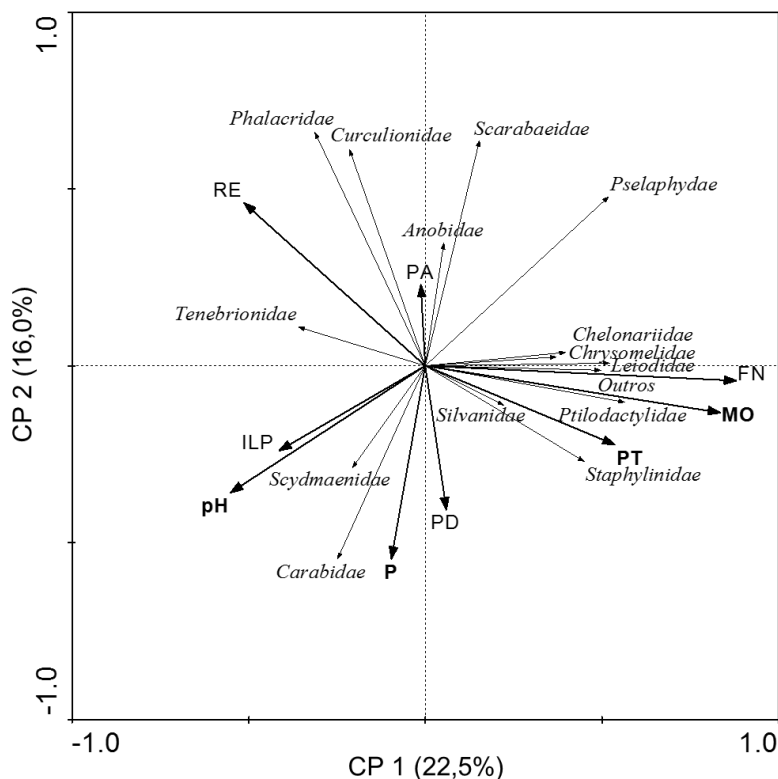
Figura 13 - Análise de componentes principais, das famílias de coleópteros amostrados por monólitos de solo (itálico) em relação aos sistemas de uso do solo, no inverno e as variáveis ambientais (negrito) utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense.



FN: floresta nativa; RE: reflorestamento de eucalipto; PA: pastagem perene; ILP: integração lavoura-pecuária; PD: plantio direto; MO: matéria orgânica; Bio: bioporos; DMP: diâmetro médio ponderado de agregados; P: fósforo; Ca/Mg: relação cálcio e magnésio.

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Figura 14 - Análise de componentes principais, das famílias de coleópteros amostrados por monólitos de solo (itálico) em relação aos sistemas de uso do solo, no verão e as variáveis ambientais (negrito) utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense.



FN: floresta nativa; RE: reflorestamento de eucalipto; PA: pastagem perene; ILP: integração lavoura-pecuária; PD: plantio direto; MO: matéria orgânica; PT: porosidade total; pH: potencial hidrogeniônico; P: fósforo.

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Contudo, quando observadas todas as figuras de ACP, relacionadas as famílias, nos dois métodos de amostragem avaliados separadamente e nas duas estações, destacou-se a

associação de Staphylinidae com a FN e com o atributo MO, indicando a elevada frequência dessa família em solos com maior aporte de resíduos orgânicos. Além desta, sobressaiu-se a família Carabidae que apresentou maior interação aos sistemas ILP e PD.

Dunxiao et al. (1999) também perceberam maior frequência da família Staphylinidae em solos contendo material orgânico. Devido à sua abundância e ampla distribuição, a família Staphylinidae pode ser considerada bioindicadora das propriedades do solo (WINK et al., 2005).

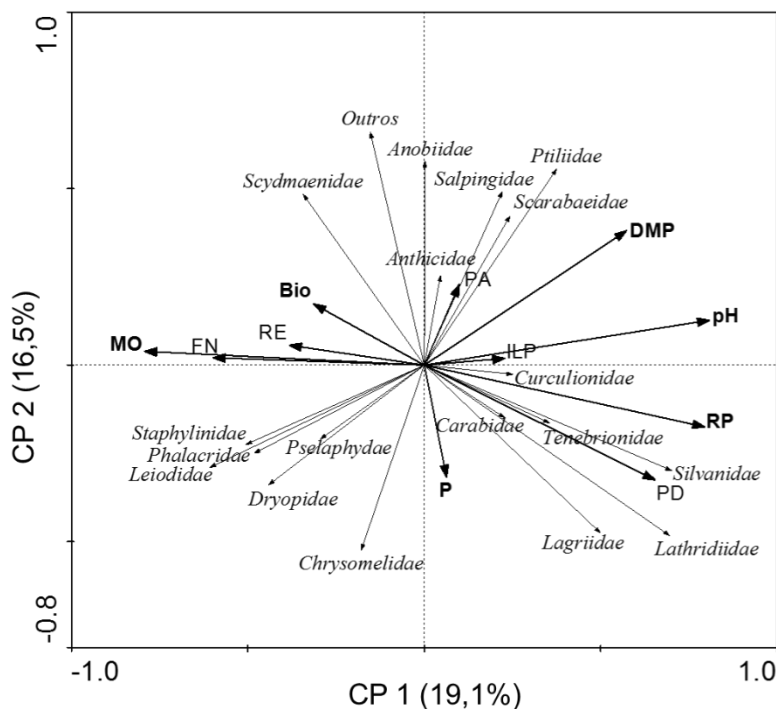
Segundo Lee e Albajes (2016), os carabídeos (Carabidae) são extensamente utilizados como indicadores de mudanças ambientais e promovem importantes serviços ambientais, como por exemplo o controle biológico de outros invertebrados pragas. Assim como os coleópteros da família Staphylinidae, os carabídeos são taxonomicamente e ecologicamente bastante conhecidos e de fácil coleta a campo, possibilitando o uso destas famílias para analisar e interpretar impactos nos ecossistemas.

4.3.3.3 Armadilhas de queda + monólitos de solo

Os resultados da ACP para as famílias amostradas por ambos os métodos (armadilhas + monólitos), no inverno (Figura 15), demonstraram que a CP1 explicou 19,1% da variabilidade dos dados e a CP2 16,5%.

Houve distinção na distribuição das famílias de Coleoptera entre os diferentes SUS, sendo que as famílias Staphylinidae, Phalacridae, Leiodidae, Scydmaenidae, Pselaphyidae e Dryopidae ficaram mais associadas aos sistemas FN e RE onde as variáveis ambientais que contribuíram para explicar essa distribuição foram a MO e Bio.

Figura 15 - Análise de componentes principais das famílias de coleópteros amostradas pelos métodos armadilhas + monólitos (itálico) em relação aos sistemas de uso do solo, no inverno e as variáveis ambientais (negrito) utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense.



FN: floresta nativa; RE: reflorestamento de eucalipto; PA: pastagem perene; ILP: integração lavoura-pecuária; PD: plantio direto; MO: matéria orgânica; RP: resistência a penetração; Bio: bioporos; DMP: diâmetro médio ponderado de agregados; pH: potencial hidrogeniônico; P: fósforo.

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Na Figura 15, PA ficou mais relacionada com as famílias *Anobiidae*, *Anthicidae*, *Salpingidae*, *Ptiliidae* e *Scarabaeidae*, devido as melhores condições do atributo do solo DMP. As

famílias Carabidae, Curculionidae, Tenebrionidae, Silvanidae, Lathridiidae e Lagriidae, associaram-se aos sistemas PD e ILP, condição explicada pelas variáveis pH, RP e P, com valores mais elevados nessas áreas.

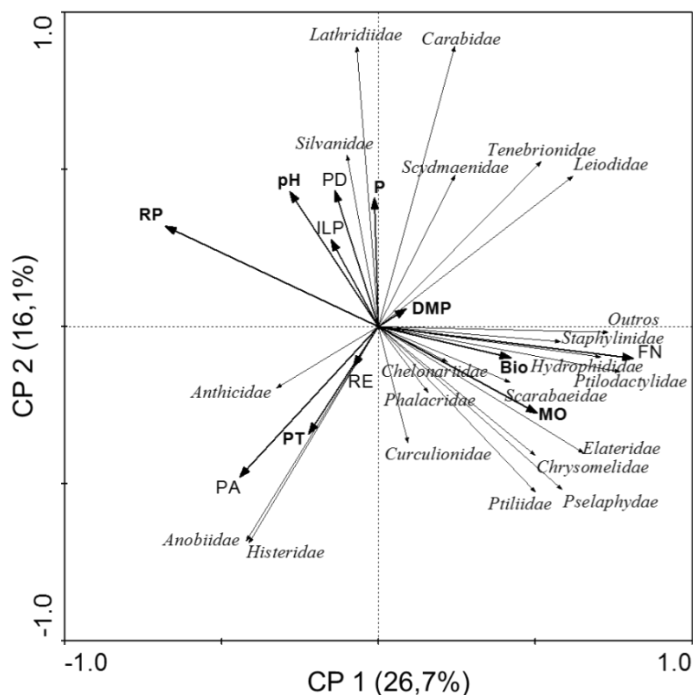
Nos resultados apresentados na ACP, no verão (Figura 16), a CP1 explicou 26,7% da variabilidade dos dados e a CP2 explicou 16,1%. Nesta época de amostragem a maioria das famílias ficaram relacionadas a FN como, Staphylinidae, Ptilodactylidae, Scarabaeidae, Elateridae, entre outras, condição explicadas pelos valores mais elevados de Bio e MO. As famílias Anobiidae, Histeridae e Anthicidae ficaram mais associadas aos sistemas PA e RE e ao atributo PT. Já PD e ILP mantiveram-se próximos na ordenação a algumas famílias como Silvanidae, Lathridiidae, Carabidae e Scydmaenidae, devido aos valores mais elevados de pH e P.

De modo geral, a variação dos dados na CP1 e CP2 foi menor nas ACPs dos métodos avaliados juntos, quando comparada as análises feitas separadamente para armadilhas e monólitos de solo, mas alguns padrões se mantiveram como a participação das famílias Carabidae e Lathridiidae juntas aos sistemas PD e ILP e as famílias Staphylinidae e Leiodidae associadas a FN. Também houve maior número de famílias relacionadas a FN.

Nas análises relacionadas aos grupos eco-morfológicos, as vantagens da avaliação dos métodos em conjunto, ficou mais evidente do que para as análises de famílias, pois as limitações das metodologias de amostragem das armadilhas e dos monólitos de solo está intimamente relacionada aos *traits* avaliados, restringindo alguns grupos, como já discutido anteriormente. Quanto as famílias, a ocorrência exclusiva de algumas delas por método de amostragem, demonstra que a avaliação conjunta contribui para estudar maior riqueza dos

invertebrados, mas isto pode estar relacionado a questões temporais e espaciais, não necessariamente à estas limitações.

Figura 16 - Análise de componentes principais das famílias de coleópteros amostradas pelos métodos armadilhas + monólitos (itálico) em relação aos sistemas de uso do solo, no verão e as variáveis ambientais (negrito) utilizadas como explicativas, no Planalto Sul Catarinense.



FN: floresta nativa; RE: reflorestamento de eucalipto; PA: pastagem perene; ILP: integração lavoura-pecuária; PD: plantio direto; MO: matéria orgânica; RP: resistência a penetração; Bio: bioporos; PT: porosidade total; DMP: diâmetro médio ponderado de agregados; pH: potencial hidrogeniônico; P: fósforo.

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A floresta nativa (FN) apresentou maior abundância e riqueza de morfotipos e de famílias de Coleoptera para os métodos separadamente ou em conjunto, devido especialmente aos atributos ligados a dinâmica do C no solo, demonstrando ser o mais estável entre os sistemas de uso do solo (SUS) estudados.

De modo geral, os sistemas com nenhum ou reduzido manejo, FN, RE e PA apresentaram maior diversidade de morfotipos de Coleoptera no verão. No inverno houve aumento da diversidade de morfotipos de Coleoptera nos sistemas PD e ILP. Quando avaliadas as famílias de Coleoptera, os usos do solo RE e PA apresentaram maior diversidade.

A análise dos grupos eco-morfológicos, ou seja, a avaliação dos indivíduos de coleópteros de acordo com suas características de adaptação a vida no solo, demonstrou potencial para discriminar os SUS, sendo, de modo geral, os epígeos mais abundantes que os hemi-edáficos e os edáficos, respectivamente. Os morfotipos edáficos, por sua vez, ficaram mais relacionados com os sistemas de PD e ILP, devido as melhores condições químicas do solo, como maiores valores de pH, Ca e P quando amostrados por monólitos de solo e com FN quando por armadilhas no verão. Assim, a comunidade de coleópteros é influenciada pelos atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo.

A avaliação conjunta das metodologias para amostragem dos coleópteros (armadilhas “*Pitfall traps*” e monólitos de solo “TSBF”) demonstrou resultados interessantes, principalmente para a análise de grupos eco-morfológicos, com *traits* específicos ligados a adaptação a vida no solo.

O índice QBS, variou entre as épocas de estudo e no geral, foi mais elevado em FN, mas não seguiu uma relação com a intensificação do uso do solo, pois o sistema de RE, considerado um uso do solo com menor intervenção em relação aos demais, obteve QBS inferior aos outros SUS, possivelmente

devido a menor diversidade vegetal do sistema.

Dentre as famílias mais frequentes destacou-se Staphylinidae, que apresentou alta relação com a FN, condição explicada pelos maiores valores de matéria orgânica do solo tanto no inverno quanto no verão. Sua elevada abundância e distribuição demonstram seu potencial indicador para os níveis de matéria orgânica e perturbação ambiental. Além desta a família Carabidae demonstrou forte padrão de associação aos sistemas ILP e PD e ao atributo P. Contudo, sugere-se para futuros trabalhos, que sejam feitas análises mais aprofundadas para verificar a condição destas famílias como indicadoras.

Quando o objetivo for estudar a diversidade de morfotipos e famílias de coleópteros edáficos, sugere-se utilizar os dois métodos “armadilhas de queda e monólitos de solo”, obtendo maior representatividade da biodiversidade do solo.

Além disso, para pesquisas posteriores, avaliar áreas de reflorestamento de eucalipto submetidas a diferentes manejos pode ajudar a entender o comportamento e distribuição dos coleópteros e contribuir para identificar quais práticas empregadas nesses sistemas oferecem melhor qualidade ao solo.

Devido à falta de taxonomistas no Brasil a separação ao nível de morfotipos para o grupo Coleoptera se mostrou uma eficiente alternativa quando o objetivo for discriminar SUS, principalmente quando se utilizam réplicas verdadeiras e amostragens sistemáticas, coletando-se informações dos atributos físicos, químicos e microbiológicos nos mesmos pontos de amostragem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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.

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

ALVES, T.S. et al. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, p. 341-347, 2011.

ANDERSEN, A. Plant protection in spring cereal production with reduced tillage. II. Pests and beneficial insects. **Crop Protection**, v. 18, n. 10, p. 651–657, 1999.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical Soil Biology and Fertility: A handbook of methods**. 2. ed. Wallingford: C-A-B International, 1993. 171p.

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.

AQUINO, A.M.; AGUIAR-MENEZES, E.L.; QUEIROZ, J.M. **Recomendações para coleta de artrópodes terrestres por armadilhas de queda ("Pitfall-traps")**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006. 8 p. (Circular Técnica, 18)

AQUINO, A. M.; CORREIA, M. E. F.; ALVES, M. V. Diversidade do macrofauna edáfica no Brasil. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSAARD, L. (Eds.). **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2008. p. 142–170.

ASHFORD, O. S. et al. Litter manipulation and the soil arthropod community in a lowland tropical rainforest. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 62, p. 5–12, 2013.

BARDGETT, R. D.; VAN DER PUTTEN, W. H. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. **Nature**, v. 515, p. 505–511, 2014.

BARETTA, D. et al. Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 41, n. 11, p. 1675–1679, 2006.

BARETTA, D. et al. Colêmbolos (Hexapoda: Collembola) como bioindicadores de qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2693-2699, 2008.

BARETTA, D. et al. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: **Tópicos em Ciência do Solo**. 7. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2011. p. 119–170.

BARETTA, D. et al. Soil fauna and its relation with environmental variables in soil managment systems. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 871–879, 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**, v. 26, n. 2, p. 135–150, 2010.

BARTZ, M. L. C. et al. Earthworm richness in land-use systems in Santa Catarina , Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 83, p. 59–70, 2014a.

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. 45, n. 5, p. 880–887, 2014b.

BEZERRA, J. M. D.; PERUQUETTI, R. C.; KERR, W. E. Adaptive behavior of *Scotocryptus melitophilus* Reitter (Coleoptera , Leiodidae) to live with its host *Melipona quadrifasciata* Lepeletier (Hymenoptera , Apidae). **Revista brasileira de Zoologia**, v. 17, n. 1, p. 199–203, 2000.

BOND-BUCKUP, G. (Org.). **Biodiversidade dos campos de cima da serra**. 2. ed. Porto Alegre: Libretos, 2010. 196 p.

BRÖRING, J. M. **Dinâmica do carbono em sistemas de uso do solo no Oeste e Planalto de Santa Catarina**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.

BROWN, G. G. et al. Biodiversidade da Fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: PARRON, L. M. et al. (Eds.). **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: EMBRAPA, 2015. p. 122–154.

BÜCHS, W. Biodiversity and agri-environmental indicators-general scopes and skills with special reference to the habitat level. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 98, p. 35–78, 2003.

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: nov. 2015.

CAMARA, R.; CORREIA, M. E. F.; VILLELA, D. M. Effects of Eucalyptus Plantations on Soil Arthropod Communities in a Brazilian Atlantic Forest Conservation Unit. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 445–455, 2012.

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

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 99-105, 1990.

CARVALHO, F. C. **Efeito de diferentes tipos de gestão em olivais nos microartrópodes de solo usando uma abordagem funcional**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2012.

CASTRO FILHO, C. et al. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 65, p. 45-51, 2002.

CHAUVAT, M. et al. Changes in soil faunal assemblages during conversion from pure to mixed forest stands. **Forest Ecology and Management**, v. 262, p. 317–324, 2011.

COLE, L. J. et al. Relationships between agricultural management and ecological groups of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) on Scottish farmland. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 93, p. 323–336, 2002.

COLEOPTERA NEOTROPICAL. **Famílias**. Juan Enrique Barriga – Tuñón. Los Niches. Curicó, Chile. 2009. Disponível em: < <http://www.coleoptera-neotropical.org/paginaprincipalhome.html> > Acesso em: nov. 2015.

CONTE, O. et al. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1301–1309, 2011.

CORDEIRO, F. et al. Diversidade da Macrofauna Invertebrada do Solo como Indicadora da Qualidade do Solo em Sistema de Manejo Orgânico de Produção. **Revista Universitária Rural**, v. 24, n. 2, p. 29–34, 2004.

CQFS. Comissão de química e Fertilidade do solo. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Passo Fundo: CQFS, 2004.

COURTNEY, R.; FEENEY, E.; GRADY, A. O. An ecological assessment of rehabilitated bauxite residue. **Ecological Engineering**, v. 73, p. 373–379, 2014.

CUNHA NETO, F. V. da et al. Soil fauna as an indicator of soil quality in forest stands, pasture and secondary forest. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1407–1417, 2012.

CURRIE, A. F.; MURRAY, P. J.; GANGE, A. C. Is a specialist root-feeding insect affected by arbuscular mycorrhizal fungi?. **Applied Soil Ecology**, v. 47, n. 2, p. 77-83, 2011.

DECAËNS, T. et al. Niche overlap and species assemblage dynamics in an ageing pasture gradient in north-western France. **Acta Oecologica**, v. 37, n. 3, p. 212-219, 2011.

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, p. 23-38, 2006.

DORAN, J.W., PARKIN T.B.,. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W. et al. (Eds.). **Defining Soil Quality for a Sustainable Environment**. Madison: Soil Science Society of America Special Publication. 1994. p. 3-21.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J.

(Eds.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America Special Publication, 1996. v. 49, p. 25–37.

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.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006.

ERWIN, T. L. The Biodiversity Question: How Many Species of Terrestrial Arthropods Are There? In: LOWMAN, D. M.; RINKER, H. B. (Eds.). **Forest Canopies**. Burlington: Elsevier Academic Press, 2004. p. 259–269.

ESALQ, **Museu de entomologia**. São Paulo: ESALQ – USP, 2004. Disponível em: <<http://www.me.esalq.usp.br/>>. Acesso em: nov. 2015.

FARIAS, P. M. de 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.

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.

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**, 2016. doi: 10.1111/1365-2664.12657

GANGE, A. C. et al. Dual colonization of *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake by arbuscular and ectomycorrhizal fungi affects levels of insect herbivore attack. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 7, n. 3, p. 253–263, 2005.

GANHO, N. G.; MARINONI, R. C. A diversidade inventarial de Coleoptera (Insecta) em uma paisagem antropizada do Bioma Araucária. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 49, n. 4, p. 535–543, 2005.

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.

GARRIGUES, E. et al. Soil quality in Life Cycle Assessment: Towards development of an indicator. **Ecological Indicators**, v. 18, p. 434–442, 2012.

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.

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.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. 275p. (Série: Manuais técnicos em geociências, n.1).

ISO (Internacional Organization for Standardization). **Soil Quality–Sampling of Soil Invertebrates Part 5: Sampling**

and Extraction of Soil Macrofauna. Geneva: Draft ISO 23611-5, 2008.

KARLEN, D. L. et al. Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation. **Soil Science Society**, v. 61, p. 4–10, 1997.

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.

KLADIVKO, E. J. Tillage systems and soil ecology. **Soil and Tillage Research**, v. 61, n. 1, p. 61-76, 2001.

KROMP, B. Carabid beetles in sustainable agriculture: A review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 74, p. 187–228, 1999.

KUZYAKOV, Y.; BLAGODATSKAYA, E.. Microbial hotspots and hot moments in soil: Concept & review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 83, p. 184-199, 2015.

LAISHRAM, J. et al. Soil Health and Soil Quality : a Review. **International Journal of Ecology and Environmental Sciences**, v. 38, n. 1, p. 19–37, 2012.

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.

LAVELLE, P. et al. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, p. S3–S15, 2006.

LAVELLE, P.; SPAIN, A. V. **Soil ecology**. Dordrecht: Springer, 2001.

LEE, M. S.; ALBAJES, R. Monitoring carabid indicators could reveal environmental impacts of genetically modified maize. **Agricultural and Forest Entomology**, 2016. doi: 10.1111/afe.12156

LIIRI, M. et al. History of land-use intensity can modify the relationship between functional complexity of the soil fauna and soil ecosystem services – A microcosm study. **Applied Soil Ecology**, v. 55, p. 53–61, 2012.

LIMA, A. C. **Insetos do Brasil**. Coleópteros 1ª, 2ª e 3ª parte. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Agronomia; 1952-1955. 372, 323 e 288p. (Tomo)

LIMA, A. C. R. et al. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 64, p. 194–200, 2013.

LIMA, H. V. D. et al. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 677-684, 2005.

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.

LOPES, W. D. Z. et al. Abundância e sazonalidade de histerídeos (Coleoptera) associados ao esterco de granja aviária da Região Nordeste do Estado de São Paulo , Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 50, n. 4, p. 492–497, 2006.

LOURENTE, E. R. P. et al. Macrofauna edáfica e sua interação com atributos químicos e físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, p. 17–22, 2007.

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.

MACHADO, J. da S. **Diversidade Morfológica de Colêmbolos (Hexapoda: Collembola) em sistemas de manejo do solo**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência do

Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2015.

MAJKA, C. G.; SÖRENNSSON, M. Featherwing beetles (Coleoptera: Ptiliidae) of the Atlantic Maritime Ecozone. In: MCALPINE, D. F.; SMITH, I. M. (Eds.). **Assessment of species diversity in the Atlantic Maritime Ecozone**. Ottawa, Canada: NRC Research Press; 2010. p. 433-438.

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

MARTINS, I. C. F. et al. Análise de fauna e flutuação populacional de Carabidae e Staphylinidae (Coleoptera) em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 53, n. 3, p. 432–443, 2009.

MARTINS, C. M. et al. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1883-1890, 2010.

MARTINS, I. C. F. et al. Diversity and habitat preferences of Carabidae and Staphylinidae (Coleoptera) in two agroecosystems. **Bracatinga**, v. 71, n. 4, p. 471–480, 2012.

MEDRI, Í. M.; LOPES, J. Coleopterofauna em floresta e pastagem no norte do Paraná, Brasil, coletada com armadilha

de solo. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 18, n. 1, p. 125–133, 2001.

MERLIM, A. de O.; AQUINO, A. M. de; CARDOSO, E. J. B. N. Larvas de Coleoptera em ecossistemas de araucária no Parque Estadual de Campos do Jordão, SP. **Ciência Rural**, v.36, n.4, p.1303-1306, 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.

MILHOMEM, M. S.; MELLO, F. Z. V. DE; DINIZ, I. R. Técnicas de coleta de besouros copronecrófagos no Cerrado. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 38, n. 11, p. 1249–1256, 2003.

MOHAMEDOVA, M.; LECHEVA, I. Effect of heavy metals on microarthropod community structure as an indicator of soil ecosystem health. **Agronomy Journal**, v. 56, p. 73–78, 2013.

MUELLER, K. E. et al. Light , earthworms , and soil resources as predictors of diversity of 10 soil invertebrate groups across monocultures of 14 tree species. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 92, p. 184–198, 2016.

NICHOLS, E. et al. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. **Biological Conservation**, v. 141, p. 1461–1474, 2008.

OLIVEIRA FILHO, L. C. I. et al. Mesofauna de solo construído em área de mineração de carvão. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 14, n. 1, p. 55–64, 2015.

PAOLETTI, M. G. Using bioindicators based on biodiversity to assess landscape sustainability. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 74, p. 1–18, 1999.

PARISI, V. The biological soil quality, a method based on microarthropods. **Acta Naturalia de L'Ateneo 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.

PAUDEL, B. R. et al. Soil quality indicator responses to row crop, grazed pasture, and agroforestry buffer management. **Agroforestry Systems**, v. 84, n. 2, p. 311–323, 2012.

PAULINO, P. S. **Atributos físicos como indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no Estado de Santa Catarina**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Estadual de Santa Catarina, Lages, 2013.

PEREIRA, J. DE 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, 2015. p. 153–180.

PEY, B. et al. Current use of and future needs for soil invertebrate functional traits in community ecology. **Basic and Applied Ecology**, v. 15, p. 194–206, 2014.

POLILOV, A. A. How small is the smallest ? New record and remeasuring of *Scydosella musawasensis* Hall , 1999 (Coleoptera , Ptiliidae), the smallest known free-living insect. **ZooKeys**, v. 526, p. 61–64, 2015.

POMPEO, P. N. et al. Fauna e sua relação com atributos edáficos em lages, Santa Catarina – Brasil. **Scientia Agraria**, v. 17, n. 1, 16 p., 2016. No prelo.

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 DEVELOPMENT Core Team. **R**: a language and environment for statistical computing. [2.12.2]. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2011.

RIEFF, G. G. et al. Diversity of springtails and mites of a native forest in southern Brazil: relationship with the indices of temperature and precipitation in the native environment.

International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, v. 4, p. 684-692, 2014.

RIBERA, I. et al. Effect of land disturbance and stress on species traits of ground beetle assemblages. **Ecology**, v. 82, n. 4, p. 1112–1129, 2001.

RODRIGUES, M. M.; UCHOA, M. A.; IDE, S. Dung beetles (Coleoptera: Scarabaeoidea) in three landscapes in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 73, n. 1, p. 211–220, 2013.

ROSA, M. G. da. **Macrofauna do solo em diferentes sistemas de uso no Oeste e Planalto Catarinense**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.

ROSA, M. G. da 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.

ROUSSEAU, L. et al. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. **Ecological Indicators**, v. 27, p. 71–82, 2013.

SANTOS, P. S. N. dos. **Utilização de Colêmbolos edáficos (Insecta: Collembola) como indicadores da qualidade do solo, com recurso a características funcionais**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2008.

SILVA, P. M. da 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, 2016.

SILVA, R. F. da et al. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1277–1283, 2011.

SILVEIRA, P. M. da 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, p. 53–59, 2008.

SLADE, E. M.; MANN, D. J.; LEWIS, O. T. Biodiversity and ecosystem function of tropical forest dung beetles under contrasting logging regimes. **Biological Conservation**, v. 144, n. 1, p. 166–174, 2011.

SOUZA, S. T. de. **Macrofauna edáfica em sistemas de uso do solo nas regiões leste e sul catarinense**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.

SPSS IBM. **IBM SPSS statistics base 20**. Chicago, IL: SPSS Inc. 2011.

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.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 395–401, 2001.

STORK, N. E.; EGGLETON, P. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 7, n. 1-2, p. 38–47, 1992.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Oxford: Blackwell, 1979.

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

ter BRAAK, C. J. F.; SMILAUER, P. **CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: software for canonical community ordination (version 4.5)**. Ithaca: Microcomputer Power, 2002. 500p.

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**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 816p.

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

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

VARCHOLA, J. M.; DUNN, J. P. Changes in ground beetle (Coleoptera: Carabidae) assemblages in farming systems bordered by complex or simple roadside vegetation. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 73, p. 41-49, 1999.

VASCONCELLOS, R. L. F. et al. Soil macrofauna as an indicator of soil quality in an undisturbed riparian forest and recovering sites of different ages. **European Journal of Soil Biology**, v. 58, p. 105–112, 2013.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743–755, 2009.

VIDAL LEGAZ B., et al., Soil quality, properties, and functions in life cycle assessment: an evaluation of models, **Journal of Cleaner Production**, 2016.
doi:10.1016/j.jclepro.2016.05.077

VIOLLE, C. et al. Let the concept of trait be functional!. **Oikos**, v. 116, p. 882-892, 2007.

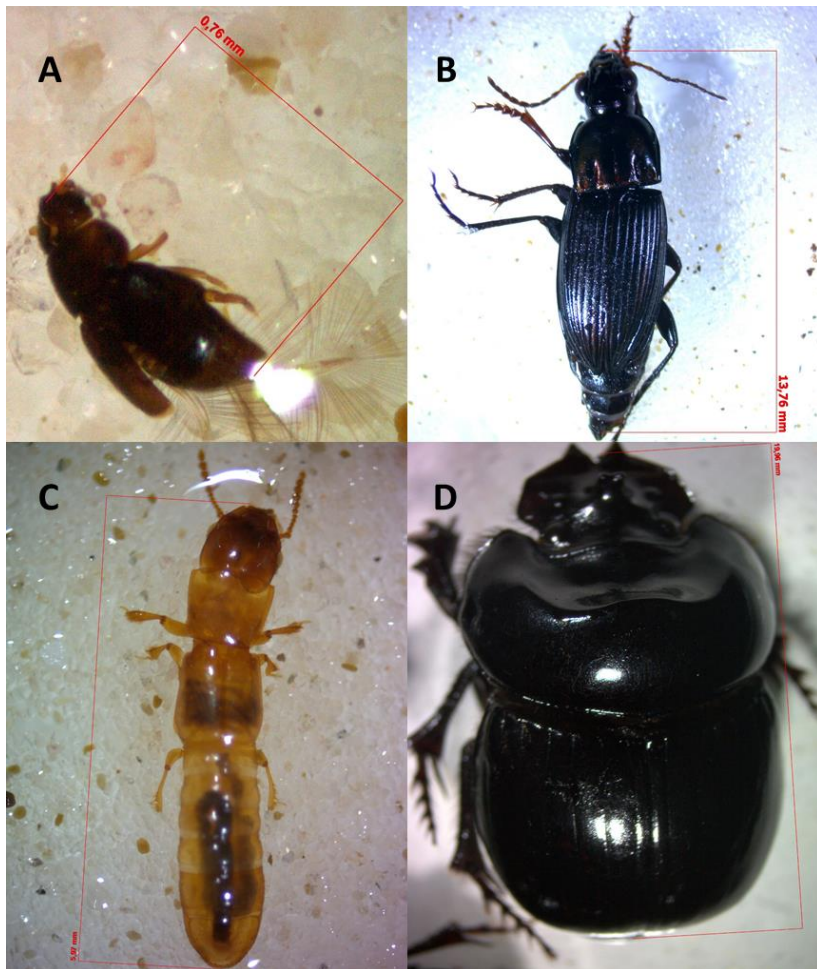
WARNAFFE, G. du B. de; DUFRÊNE, M. To what extent can managment variables explains species assemblages? A study of carabid beetles in forests. **Ecography**, v. 27, p. 701–714, 2004.

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.

ANEXO

Anexo A – Figura com as características dos Coleoptera observadas para a pontuação do índice eco-morfológico (EMI). (Continua)



A: tamanho do corpo < 2mm; B: tamanho do corpo > 2mm; C: tegumento fino; D: tegumento rígido.

Fonte: Produção do próprio autor, 2015.





Anexo A – Figura com as características dos Coleoptera observadas para a pontuação do índice eco-morfológico (EMI). (Conclusão)



E: asas membranas desenvolvidas; F: asas membranas reduzidas ou ausentes; G: olhos reduzidos; H: olhos normais.




Fonte: Produção do próprio autor, 2015.

Anexo B – Quadro com exemplos das características morfológicas avaliadas para separação das morfo-espécies. (Continua)

Característica	Detalhamento por imagem	
Subordem	<p>Adephaga</p> 	<p>Polyphaga</p> 
Forma do corpo	<p>Alongado / Oval / Alongado oval</p> 	
Tamanho	<p>Unidade de medida mm</p>  <p>Pode variar de menos de 1 mm a alguns centímetros (Foto: 6,57mm).</p>	

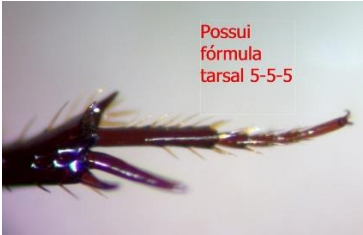


Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Anexo B – Quadro com exemplos das características morfológicas avaliadas para separação das morfo-espécies. (Continuação)

Característica	Detalhamento por imagem
Cor	<p>Castanho / Colorido / Metálico</p>  <p>A cor pode variar em tons diferenciados no próprio tegumento ou pêlos brilhosos.</p>
Tipo de antena	<p>Lamelada / Geniculo-capitada</p>  <p>Existem variadas formas básicas de antenas.</p>
Dobras das antenas	<p>Dobradas em cotovelo</p>  <p>A dobra em cotovelo pode ser encontrada em diversas posições, tipos e formas de antenas.</p>

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Anexo B – Quadro com exemplos das características morfológicas avaliadas para separação das morfo-espécies. (Conclusão)

Características	Detalhamento por imagem
Fórmula tarsal	<p>Contagem do número de tarsos</p>  <p>Deve ser contada em cada par de membros, podendo variar: 4:5:5, 5:5:5, 3:3:3, entre outras.</p>
Élitros	<p>Estriação / Pubescência</p> 
Outras	<p>Abdome / Cabeça</p>  <p>Élitros não cobrindo totalmente o abdome e cabeça prolongando-se em rostro.</p>

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.