

ANA PAULA MACCARI

**AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DE CAMA DE AVES EM SOLOS DO
ESTADO DE SANTA CATARINA**

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

Orientador: Dr. Dilmar Baretta

**LAGES, SC
2018**

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

Maccari, Ana Paula

Avaliação ecotoxicológica de cama de aves em solos
do estado de Santa Catarina / Ana Paula Maccari. -
Lages , 2018.

172 p.

Orientador: Dilmar Baretta
Tese (Doutorado) - Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages,
2018.

1. Análise de risco ambiental. 2. Ecotoxicologia
terrestre. 3. Fauna do solo. 4. Modelos de
Ecossistemas Terrestres. 5. Resíduo animal. I.
Baretta, Dilmar . II. Universidade do Estado de
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação. III.
Título.

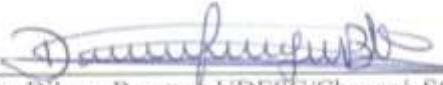
ANA PAULA MACCARI

**AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DE CAMA DE AVES EM SOLOS
DO ESTADO DE SANTA CATARINA**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de doutora no Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Banca Examinadora:

Orientador:



Dr. Dilmar Baretta - UDESC/Chapecó-SC

Membros internos:

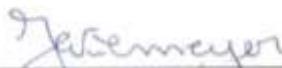


Dr. Osmar Klauberg Filho - UDESC/Lages-SC



Dr. Luis Carlos Junes Oliveira Filho - UDESC/Lages-SC

Membros externos:



Dra. Júlia Carina Niemeyer - UFSC/Curitibanos-SC



Dr. Paulo Roger Lopes Alves - UFFS/Chapecó-SC

Lages, SC, 20 de fevereiro de 2018

A minha família.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus por permitir mais essa conquista.

A minha família, em especial aos meus pais Altecer Maccari e Iracema Ana May Maccari, por estarem presentes e apoiarem as minhas decisões me inspirando a seguir em frente sempre. Aos meus irmãos Juliano Maccari e Andreia Maccari, meus cunhados Aline Marcia Maccari e Adriano da Silva e aos meus sobrinhos Jonas Henrique Maccari e Vitor Manuel Maccari da Silva pelo apoio e incentivo sempre.

Ao Prof. Dr. Dilmar Baretta, pela amizade, ensinamentos e por todas as oportunidades que me proporcionou durante a minha graduação, mestrado e doutorado.

Ao Prof. Dr. Osmar Klauberg Filho e o Prof. Dr. José Paulo de Sousa pela orientação e pelas oportunidades durante o mestrado, doutorado e doutorado sanduíche em Portugal.

Aos colegas do laboratório de Solos e Sustentabilidade (UDESC/Oeste) Marcio Gonçalves da Rosa, Edpool Rocha Silva, Daniel Barreta, Georgia de Aguiar, Tamires Reis, Patrik Breitenbach, Francisca Mazzochi da Silva, Suelen Serafini, Junior Gonçalves, Alex Menegat, Lucas Menegatti, Rafael Baggio pela amizade, ajuda nas coletas e experimentos e pelos bons momentos de convivência.

A Julia Segat, Talyta Zortéa, Manuela Testa, Vanessa Mignon Dalla Rosa e Laura Carolina Giombelli pela amizade, ajuda e experiências compartilhadas.

Aos colegas do laboratório de Ecologia do Solo (UDESC/CAV) Priscila, Gilvani, Rafaela, Gessiane, Danieli, Daniela, Pamela, Letícia, Janaína, Douglas, Ana Lovatel, Ana Casara, Mayara, Elston, Mariana, Aureanívea, Bethânia, Camila, Marcielli, Josieli, Josiane e Julia e aos colegas da Pós-graduação Ivan e Gustavo pela amizade, ajuda nas coletas, desmontagens e análises de experimentos e pelos momentos de convivência.

Ao André, pelo apoio, paciência e companheirismo em todos os momentos.

Ao Dr. Luís Carlos Iuñes de Oliveira Filho, pela ajuda e contribuições e pela paciência no esclarecimento das dúvidas que surgiram ao longo do trabalho.

A Embrapa Suínos e Aves, Concórdia-SC, em especial ao pesquisador Juliano Corulli Correa pela ajuda e o suporte necessário para a execução do trabalho.

Ao Douglas Alexandre, Marie Luise Carolina Bartz e Cintia Carla Niva pelo auxílio na identificação da fauna edáfica, espécies de minhocas e enquistreídeos.

A FAPESC pela concessão da bolsa de estudos e a CAPES pela concessão da bolsa de doutorado sanduíche em Portugal (Edital nº19/2016).

A Universidade de Coimbra e aos colegas do Laboratório de Ecologia e Ecotoxicologia de Solos do Departamento de Ciências da Vida, e em especial a Carla Pereira, Tiago Natal-da-Luz, Sonia Chelinho, João Raimundo, Eduardo Nascimento, Daniela Alves pela ajuda e pelos conhecimentos repassados durante o doutorado sanduíche.

A UDESC e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo - CAV, pela oportunidade de formação.

Enfim, agradeço a todos os que contribuíram de uma forma ou outra, para a realização desse projeto.

RESUMO

MACCARI, Ana Paula. **Avaliação ecotoxicológica de cama de aves em solos do estado de Santa Catarina.** 2018. 172p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, SC, 2018.

A produção intensiva de frangos de corte gera grandes quantidades de resíduos e estes, quando não tratados e descartados inadequadamente, podem ocasionar a contaminação do solo e efeitos adversos para a fauna edáfica. Este estudo teve por objetivo avaliar os efeitos da utilização de doses de cama de aves compostada (C) e não compostada (NC) sobre a fauna do solo com base em ensaios ecotoxicológicos padronizados e ensaios em condições de semi-campo. Foram utilizados dois solos sendo o Nitossolo Vermelho distroférreo (Nitossolo) e Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo). A cama de aves testada foi coletada em uma granja com produção comercial de frangos de corte. O estudo foi desenvolvido em duas etapas com os seguintes objetivos específicos: (Etapa 1) Avaliar por meio de testes ecotoxicológicos de laboratório os efeitos da aplicação de doses de cama de aves C e NC sobre a letalidade e reprodução de grupos de organismos representantes da meso e macrofauna edáfica (*Folsomia candida*, *Hypoaspis aculeifer*, *Enchytraeus crypticus* e *Eisenia andrei*) visando determinar a concentração efetiva que causa redução de 50% na taxa reprodutiva desses organismos (CE₅₀); (Etapa 2) Avaliar através de ensaios em condições de semi-campo com modelos de ecossistemas terrestres (*Terrestrial Model Ecosystems* - TMEs) os efeitos da aplicação de doses de cama de aves (0, 10, 20 e 40 t ha⁻¹), uso histórico e tratamento da cama (compostagem) sobre a densidade, atividade e diversidade da comunidade edáfica nativa. Os resultados obtidos na Etapa 1 mostram que as quatro espécies de invertebrados do solo apresentaram respostas distintas quando expostas a solos com doses crescentes de cama de aves C e NC. A reprodução das espécies *F. candida* e *E. andrei* foi afetada negativamente pela adição de cama de aves, sendo a magnitude dos efeitos dependente da dose e solo testado. Por outro lado, a reprodução da espécie *E. crypticus* foi influenciada positivamente pela adição do resíduo orgânico ao solo, enquanto que a espécie *H. aculeifer* não apresentou diferenças em relação ao solo controle. De maneira geral, não foram encontradas diferenças de toxicidade entre as duas camas (C e NC) dentro de cada solo, exceto, nos ensaios de reprodução com *F. candida* no Nitossolo, onde a cama de aves NC ocasionou maior toxicidade para os organismos, quando comparada a cama de aves C. Quando analisado individualmente, o Nitossolo apresentou maior toxicidade derivada da aplicação de cama de aves que o Cambissolo. Os diferentes valores de concentração efetiva CE₅₀ encontrados para as diferentes espécies de invertebrados do solo (*F. candida* > *E. andrei* > *E. crypticus* ~ *H. aculeifer*) reforçam a importância da utilização de mais de uma espécie indicadora para a avaliação da toxicidade de um contaminante. Na Etapa 2, os resultados obtidos mostram que a aplicação de doses de cama de aves no solo influenciou nas respostas da fauna edáfica. Os tratamentos com adição de 10 e 20 t ha⁻¹ de cama de aves apresentaram maior densidade de grupos da fauna do solo e esse fato foi associado às melhorias no ambiente promovidas pelo aporte de matéria orgânica e nutrientes fornecido pela cama de aves. O tratamento com adição de 40 t ha⁻¹ apresentou menor densidade e riqueza de grupos da fauna edáfica o que possivelmente está relacionado aos efeitos tóxicos derivados da maior quantidade N, NH₄⁺ e NO₃⁻ no solo. A presença dos grupos da fauna do solo foi influenciada pelo uso histórico de cama de aves e pelo tratamento do resíduo (compostagem). O uso histórico promoveu redução na densidade de indivíduos de grupos da fauna do solo, sendo os efeitos dependentes do tratamento (cama C e NC) e do tempo de avaliação. Os resultados

evidenciam a necessidade da adoção de práticas de gerenciamento e descarte adequadas da cama de aves (compostagem, volume e frequência de aplicação), com o intuito de garantir a manutenção da biodiversidade e de todos os serviços e funções essenciais nos ecossistemas.

Palavras-chave: Análise de risco ambiental. Ecotoxicologia terrestre. Fauna do solo. Modelos de Ecossistemas Terrestres. Resíduo animal.

ABSTRACT

MACCARI, Ana Paula. **Ecotoxicological assessment of poultry litter in soils of the state Santa Catarina.** 2018. 172p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, SC, 2018.

The production of broiler chickens generate large amounts of residues and these, when not treated and disposed of inappropriately, can lead to soil contamination and adverse effects on soil fauna. The aim of this study was to evaluate the effects of the composted (C) and non composted poultry litter (NC) on soil fauna by means of standardized ecotoxicological tests and semi field. For the study were used two soils, classified as Nitosol and Cambisol. The poultry litter tested came from a farm with commercial production of broiler chickens. The study was developed in two stages with the following specific objectives: (Tier 1) Evaluate by laboratory test the effects of doses of C and NC poultry litter on the lethality and reproduction of groups of organisms representative of soil meso and macrofauna (*Folsomia candida*, *Hypoaspis aculeifer*, *Enchytraeus crypticus* and *Eisenia andrei*) to estimated the effective concentration causing 50% of effects on reproduction of these organisms (EC₅₀); (Tier 2) Evaluate by semi-field tests with Terrestrial Model Ecosystems (TMEs), the effects of application of doses poultry litter (0, 10, 20 and 40 t ha⁻¹), historical use and treatment of poultry (composting) on the density, activity and diversity of the native edaphic community. The results obtained in Tier 1 shown that the four soil invertebrates species presented distinct responses when exposed to soils with doses of C and NC poultry litter. Soil amendment with increasing doses of poultry litter negatively affected the reproductive potential of *F. candida* and *E. andrei*, the magnitude of these effects was dependent on the dose and soil type. The reproduction of the *E. crypticus* was positively influenced by the addition of the poultry litter to the soil and reproduction *H. aculeifer* showed no differences in relation to the control soil. In general, no toxicity differences were found between the two poultry litter (C and NC) within each soil, except, in the reproduction tests with *F. candida* in the Nitosol, where the poultry litter NC caused more pronounced toxicity to the organisms when compared to the poultry litter C. When analyzed individually on Nitosol showing a much higher toxicity than in Cambisol. The different values of the effective concentration EC₅₀ found for the different invertebrate species of the soil (*F. candida* > *E. andrei* > *E. crypticus* ~ *H. aculeifer*) reinforce the importance of the use of more than one indicator species for the evaluation of the toxicity of a contaminant. The results obtained in Tier 2 shown that the application of poultry litter in the soil influenced the responses of the soil fauna. The treatments with addition of 10 and 20 t ha⁻¹ of poultry litter presented higher density of the main groups of the fauna and this fact was associated to the improvements in the environment promoted by addition the organic matter and nutrients provided by poultry litter. The treatment with addition of 40 t ha⁻¹ presented lower density and richness of soil fauna groups, possibly related to the toxic effects derived from the high N content, NH₄⁺ and NO₃⁻ in the soil. The presence of soil fauna groups was influenced by historical use of poultry litter of and the treatment of the manure (composting). The historical use promoted reduction in the density of individuals the soil fauna, the magnitude of these effects was dependent on the treatment (poultry litter C and NC) and the time of evaluation. The results show the need to adopt adequate management and disposal practices of the poultry litter (composting, dose and frequency of application) in order to guarantee the maintenance of biodiversity and all essential services and functions in ecosystems.

Key-words: Environmental risk assessment. Terrestrial ecotoxicology. Soil fauna. Terrestrial model ecosystems. Animal waste.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 4.1. 1 - Número médio de indivíduos (Ind.) juvenis (Juv.) (+DP) de *Folsomia candida* em Nitossolo Vermelho distroférrico contaminado com doses crescentes de cama de aves compostada (A) e não compostada (B). * Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Dunnett (n=5). 71
- Figura 4.1. 2 - Número médio de indivíduos (Ind.) juvenis (Juv.) (+DP) de *Folsomia candida* em Cambissolo Húmico alumínico contaminado com doses crescentes de cama de aves compostada (A) e não compostada (B). * Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Dunnett (n=5). 71
- Figura 4.2. 1 - Número de adultos e juvenis *Hypoapsis aculeifer* (média + desvio padrão: n = 8 para controles e n = 4 para doses) em Nitossolo Vermelho distroférrico contaminado com doses crescentes de cama de aves compostada (A) e não compostada (B). * Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Dunnett. 87
- Figura 4.2. 2 - Número de adultos e juvenis *Hypoapsis aculeifer* (média + desvio padrão: n = 8 para controles e n = 4 para doses) em Cambissolo Húmico alumínico contaminado com doses crescentes de cama de aves compostada (A) e não compostada (B). * Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Dunnett. 88
- Figura 4.3. 1 - Número médio de indivíduos (Ind.) juvenis (Juv.) (+DP) de *Eisenia andrei* em Nitossolo Vermelho distroférrico contaminado com doses crescentes de cama de aves. Compostada (A) e não compostada (B) * Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Dunnett (n=5). 102
- Figura 4.3. 2 - Número médio de indivíduos (Ind.) juvenis (Juv.) (+DP) de *Eisenia andrei* em Cambissolo Húmico alumínico contaminado com doses crescentes de cama de aves. Compostada (A) e não compostada (B). * Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Dunnett (n=5). 103
- Figura 4.3. 3 - Número médio de indivíduos (Ind.) juvenis (Juv.) (+DP) de *Enchytraeus crypticus* em Nitossolo Vermelho distroférrico contaminado com doses crescentes de cama de

aves. Compostada (A) e não compostada (B). * Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Dunnett (n=5).....104

Figura 4.3. 4 - Número médio de indivíduos (Ind.) juvenis (Juv.) (+DP) de *Enchytraeus crypticus* em Cambissolo Húmico alumínico contaminado com doses crescentes de cama de aves. Compostada (A) e não compostada (B). * Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Dunnett (n=5).105

Figura 4.4. 1 - Esquema detalhado da coleta e transporte dos TMEs até o laboratório. Vista do amostrador de aço + tubo de PEAD (A); Coleta do TME com o auxílio da retroescavadeira para introduzir e remover o amostrador de aço + tubo de PEAD no solo (B); Vista do amostrador sendo introduzido no solo (C); Vista do TME coletado (D); Transporte até o laboratório (E); Acondicionamento dos TMEs nos *carts* (F).122

Figura 4.4. 2 - Vista com detalhes da etapa de desmontagem dos TMEs em cada tempo. Retirada do *litter bag* do TME (A); Corte da pastagem para estimar a produção de matéria seca (B); Vista da coleta do lixiviado (C); Extração da amostra de solo do tubo de PEAD (D); Amostra com estrutura preservada retirada do tubo de PEAD (E); Camada superficial 0,00-10 cm separada em quatro porções (F); Vista da triagem manual da amostra (G).124

Figura 4.4. 3 - Vista da avaliação do fluxo de CO₂ do sistema com o equipamento Licor LI 8100.125

Figura 4.4. 4 - Avaliação do efeito da aplicação da cama de aves dentro de cada tratamento ao longo do tempo em comparação com o controle no Nitossolo Vermelho distroférreo com doses crescentes de cama de aves 0, 10, 20 e 40 t ha⁻¹. Densidade de indivíduos em cada dose testada (A); Produção acumulada de C-CO₂ (B); Carbono total (C); Nitrogênio total (D). Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Dunnett.130

Figura 4.4. 5 - Análise de Componentes Principais (ACP) para primeiro tempo de avaliação (T1) para os principais grupos da fauna encontrados e as variáveis ambientais utilizadas como explicativas (**Em negrito**) em Nitossolo Vermelho distroférreo com doses de cama de aves: Controle: ○ D0; 10 t ha⁻¹: ● D10; 20 t ha⁻¹: □ D20; 40 t ha⁻¹: ■ D40. Acari (Aca), Araneae (Ara), Chilopoda (Chi), Coleoptera (Col), Collembola (Coll), Dermaptera (Der), Densidade

(Densidade), Diplopoda (Dip), Enchytraeidae (Ench), Formicidae (For), Hemiptera (Hem), Larva de Coleoptera (L. Col), Larva de Diptera (L. Dipt), Mollusca (Moll), Oligochaeta (Oli), Outros (Outros), Riqueza (Riqueza), Thysanoptera (Thy). Carbono microbiano (**Cmic**), Carbono total (**Ctot**), Nitrogênio total (**Ntot**), Produção acumulada de C-CO₂ (**RB-CO₂**), Taxa de decomposição (**Dec**). 133

Figura 4.4. 6 - Análise de Componentes Principais (ACP) para o segundo tempo de avaliação (T2) para os principais grupos da fauna encontrados e as variáveis ambientais utilizadas como explicativas (**Em negrito**) em Nitossolo Vermelho distroférreo com doses de cama de aves: Controle: ○ D0; 10 t ha⁻¹: ● D10; 20 t ha⁻¹: □ D20; 40 t ha⁻¹: ■ D40. Acari (Aca), Araneae (Ara), Chilopoda (Chi), Coleoptera (Col), Collembola (Coll), Densidade (Densidade), Dermaptera (Der), Diplura (Dipl), Enchytraeidae (Ench), Formicidae (For), Hemiptera (Hem), Larva de Coleoptera (L. Col), Larva de Diptera (L. Dipt), Mollusca (Moll), Oligochaeta (Oli), Riqueza (Riqueza), Thysanoptera (Thy). Carbono microbiano (**Cmic**), Carbono total (**Ctot**), Taxa de decomposição (**Dec**), Nitrato (NO₃⁻). 134

Figura 4.4. 7 - Análise de Componentes Principais (ACP) para terceiro tempo de avaliação (T3) para os principais grupos da fauna encontrados e as variáveis ambientais utilizadas como explicativas (**Em negrito**) em Nitossolo Vermelho distroférreo com doses crescentes de cama de aves: Controle: ○ D0; 10 t ha⁻¹: ● D10; 20 t ha⁻¹: □ D20; 40 t ha⁻¹: ■ D40. Acari (Aca), Araneae (Ara), Chilopoda (Chi), Coleoptera (Col), Collembola (Coll), Densidade (Densidade), Dermaptera (Der), Diplura (Dipl), Enchytraeidae (Ench), Formicidae (For), Hemiptera (Hem), Larva de Coleoptera (L. Col), Larva de Diptera (L. Dipt), Mollusca (Moll), Oligochaeta (Oli), Outros (Outros), Riqueza (Riqueza). Amônio (NH₄⁺), Nitrogênio total (**Ntot**), Produção acumulada de C-CO₂ (**RB-CO₂**). 135

Figura 4.5. 1 - Vista dos TMEs no período de aclimatação (A); Aveia (*Avena sativa*) (B); Aplicação da cama de aves (C); Tratamento após a aplicação da cama de aves (D); Vista geral do experimento aos 30 dias após a aplicação da cama (E). 148

Figura 4.5. 2 - Comparação dos efeitos entre as áreas sem uso histórico [SH] e com uso histórico [CH] de cama de aves no primeiro tempo de avaliação. Densidade de indivíduos (Ind. m⁻²) tratamentos com adição de cama de aves compostada [C] (A); Densidade de indivíduos (m⁻²) tratamentos com adição de cama de aves não compostada [NC] (B); Riqueza

de grupos tratamentos com adição de cama de aves compostada [C] (C); Riqueza de grupos tratamentos com adição de cama de aves compostada [NC] (D); * Diferenças significativas entre as áreas SH e CH de acordo com teste *t student* ($p < 0,05$).....153

Figura 4.5. 3 - Comparação dos efeitos entre as áreas sem uso histórico [SH] e com uso histórico [CH] de cama de aves no segundo tempo de avaliação. Densidade de indivíduos (Ind. m^{-2}) tratamentos com adição de cama de aves compostada [C] (A); Densidade de indivíduos (Ind. m^{-2}) tratamentos com adição de cama de aves não compostada [NC] (B); Riqueza de grupos tratamentos com adição de cama de aves compostada [C] (C); Riqueza de grupos tratamentos com adição de cama de aves compostada [NC] (D); * Diferenças significativas entre as áreas SH e CH de acordo com teste *t student* ($p < 0,05$).154

Figura 4.5. 4 - Análise de Componentes Principais (ACP) no Tempo 1 para os grupos da fauna edáfica encontrados e as variáveis ambientais utilizadas como explicativas (**Em negrito**) em Nitossolo Vermelho distroférrego com histórico (CH) e sem uso histórico de cama de aves (SH). ○ CHC: Área com histórico e cama compostada; ● CHNC: Área com histórico e cama não compostada; □ SHC: Área sem histórico e cama compostada; ■ SHNC: Área sem histórico e cama não compostada. Acari (Aca), Araneae (Ara), Coleoptera (Col), Collembola (Coll), Densidade (Densidade), Diplopoda (Dip), Formicidae (For), Hemiptera (Hem), Larva de Coleoptera (L. Col), Larva de Diptera (L. Dipt), Mollusca (Moll), Oligochaeta (Oli), Outros (Out), Riqueza (Riqueza), Symphyla (Sym), Thysanoptera (Thy). Carbono total (Ctot), Nitrogênio total (Ntot), Umidade (**Umidade**) e matéria seca da pastagem (**MS Pastagem**).....156

Figura 4.5. 5 - Análise de Componentes Principais (ACP) no Tempo 2 para os grupos da fauna edáfica encontrados e as variáveis ambientais utilizadas como explicativas (**Em negrito**) em Nitossolo Vermelho distroférrego com histórico (CH) e sem uso histórico de cama de aves (SH). ○ CHC: Área com histórico e cama compostada; ● CHNC: Área com histórico e cama não compostada; □ SHC: Área sem histórico e cama compostada; ■ SHNC: Área sem histórico e cama não compostada. Acari (Aca), Araneae (Ara), Coleoptera (Col), Collembola (Coll), Diplopoda (Dip), Formicidae (For), Hemiptera (Hem), Larva de Coleoptera (L. Col), Larva de Diptera (L. Dipt), Oligochaeta (Oli), Riqueza (Riqueza), Symphyla (Sym), Thysanoptera (Thy); Matéria seca da pastagem (**MS Pastagem**).....157

Figura 4.5. 6 - Análise de Componentes Principais (ACP) no Tempo 1 (A) e Tempo 2 (B) para os grupos da fauna edáfica encontrados e as variáveis ambientais utilizadas como explicativas (**Em negrito**) em Nitossolo Vermelho distroférrico sem uso histórico de cama de aves tratado com cama de aves compostada e não compostada. ○ SHC: Área sem histórico e cama compostada; ● SHNC: Área sem histórico e cama não compostada; Acari (Aca), Araneae (Ara), Coleoptera (Col), Collembola (Coll), Densidade (Densidade), Diplopoda (Dip), Formicidae (For), Hemiptera (Hem), Larva de Coleoptera (L. Col), Larva de Diptera (L. Dipt), Mollusca (Moll), Oligochaeta (Oli), Outros (Out), Riqueza de grupos (Riqueza), Symphyla (Sym), Thysanoptera (Thy). Amônio (NH_4^+), Carbono microbiano (**Cmic**), Carbono total (**Ctot**), Nitrogênio total (**Ntot**), Matéria seca da pastagem (**MS Pastagem**), Produção acumulada de C-CO₂ (**RB-CO₂**).....159

Figura 4.5. 7 - Análise de Componentes Principais (ACP) no Tempo 1 (A) e Tempo 2 (B) para os grupos da fauna edáfica encontrados e as variáveis ambientais utilizadas como explicativas (**Em negrito**) em Nitossolo Vermelho distroférrico com uso histórico de cama de aves tratado com cama de aves compostada e não compostada. ○ CHC: Área com histórico e cama compostada; ● CHNC: Área com histórico e cama não compostada; Abundância (Abundância), Acari (Aca), Araneae (Ara), Coleoptera (Col), Collembola (Coll), Diplopoda (Dip), Formicidae (For), Hemiptera (Hem), Larva de Coleoptera (L. Col), Larva de Diptera (L. Dipt), Mollusca (Moll), Oligochaeta (Oli), Outros (Out), Riqueza (Riqueza), Symphyla (Sym), Thysanoptera (Thy). Amônio (NH_4^+), Carbono microbiano (**Cmic**), Nitrato (NO_3^-), Nitrogênio total (**Ntot**), Matéria seca da pastagem (**MS Pastagem**), Produção acumulada de C-CO₂ (**RB-CO₂**) e Umidade (**Umidade**).....161

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1. 1 - Média (X) ± desvio padrão (DP) de indivíduos vivos de <i>Folsomia candida</i> em Nitossolo Vermelho distroférreo (Nitossolo) e Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo) contaminado com doses crescentes de cama de aves compostada (C) e não compostada (NC) ($t\ ha^{-1}$). Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Dunnett (n=5).	70
Tabela 4.1. 2 - Valores de concentração efetiva CE_{50} ($t\ ha^{-1}$) calculados para os ensaios de reprodução com <i>Folsomia candida</i> em Nitossolo Vermelho distroférreo (Nitossolo) e Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo) contaminado com doses de cama de aves compostada (C) e não compostada (NC).	72
Tabela 4.1. 3 - Teores de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) ($mg\ Kg^{-1}$) quantificados para cada dose de cama de aves compostada (C) e não compostada (NC) após a adição no Nitossolo Vermelho distroférreo (Nitossolo) e Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo).	72
Tabela 4.1. 4 - Valores médios (X) ± desvio padrão (DP) de cobre (Cu) e zinco (Zn) quantificados ($mg\ kg^{-1}$) para cada dose de cama de aves compostada (C) e não compostada (NC) aplicadas no Nitossolo Vermelho distroférreo (Nitossolo) e Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo).	73
Tabela 4.2. 1 - Valores de pH (KCl 1M) obtidos no início e no final do ensaio com <i>Hypoapsis aculeifer</i> em Nitossolo Vermelho distroférreo e Cambissolo Húmico alumínico contaminado com doses crescentes de cama de aves no início do teste (Dia zero) e final do teste (14 dias após). (C) Cama de aves compostada e (NC) Cama de aves não compostada.	89
Tabela 4.3. 1 - Número médio de indivíduos adultos aos 14 dias (X) ± desvio padrão (DP) de <i>Eisenia andrei</i> em Nitossolo Vermelho distroférreo (Nitossolo) e Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo) contaminado com doses crescentes de cama de aves ($t\ ha^{-1}$) compostada (C) e não compostada (NC). * Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$), ^{ns} não significativa ($p > 0,05$) pelo teste de Dunnett (n=5).	102

Tabela 4.3. 2 - Número médio de indivíduos adultos aos 14 dias (X) \pm desvio padrão (DP) de *Enchytraeus crypticus* em Nitossolo Vermelho distroférreo (Nitossolo) e Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo) contaminado com doses crescentes de cama de aves (t ha⁻¹) compostada (C) e não compostada (NC). * Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$), ^{ns} não significativa ($p > 0,05$) pelo teste de Dunnett (n=5)..... 104

Tabela 4.3. 3 - Concentração efetiva CE₅₀ (t ha⁻¹) para *Eisenia andrei* e *Enchytraeus crypticus* em Nitossolo Vermelho distroférreo (Nitossolo) e Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo) contaminado com doses crescentes de cama de aves compostada (C) e não compostada (NC)..... 105

Tabela 4.3. 4 - Teores de amônio (N-NH₄⁺) e nitrato (N-NO₃⁻) (mg kg⁻¹) quantificados para cada dose de cama de aves compostada (C) e não compostada (NC) após a adição no Nitossolo Vermelho distroférreo (Nitossolo) e Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo).
..... 106

Tabela 4.3. 5 - Valores médios (X) \pm desvio padrão (DP) de cobre (Cu) e zinco (Zn) quantificados (mg kg⁻¹) para cada dose de cama de aves compostada (C) e não compostada (NC) aplicadas no Nitossolo Vermelho distroférreo (Nitossolo) e Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo)..... 106

Tabela 4.3. 6 - Valores de pH (KCl 1M) obtidos no início e no final do ensaio com *Eisenia andrei* em Nitossolo Vermelho distroférreo e Cambissolo Húmico alumínico contaminado com doses de cama de aves no início do teste (Dia zero) e final do teste (56 dias após). (C) Cama de aves compostada e (NC) Cama de aves não compostada..... 107

Tabela 4.3. 7 - Valores de pH (KCl 1M) obtidos no início e no final do ensaio com *Enchytraeus crypticus* em Nitossolo Vermelho distroférreo e Cambissolo Húmico alumínico contaminado com doses crescentes de cama de aves no início do teste (Dia zero) e final do teste (28 dias após). (C) Cama de aves compostada e (NC) Cama de aves não compostada. 107

Tabela 4.5. 1 - Parâmetros químicos e físicos do Nitossolo Vermelho distroférreo com histórico de uso de cama de aves (CH) e sem uso histórico de cama de aves (SH) avaliado na camada de 0,00-0,20 m..... 146

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	39
1.1	HIPÓTESES	40
1.2	OBJETIVO GERAL.....	40
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	40
2	REFERENCIAL TEÓRICO	41
2.1	AVICULTURA DE CORTE.....	41
2.1.1	Avicultura e produção de cama de aves.....	41
2.2	FAUNA DO SOLO, SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E ECOTOXICOLOGIA COMO FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL	46
	REFERÊNCIAS	49
3	MATERIAL E MÉTODOS	57
3.1	SOLOS	57
3.2	CAMA DE AVES	57
3.2.1	Histórico da cama de aves	57
3.2.2	Procedimento de coleta	58
3.3	DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO	58
3.3.1	Etapa 1: Avaliação ecotoxicológica da cama de aves utilizando ensaios de laboratório padronizados com invertebrados do solo.....	58
3.3.2	Etapa 2: Avaliação dos efeitos da aplicação da cama de aves sobre a fauna do solo em condições de semi-campo (ensaios com “ <i>Terrestrial Model Ecosystems</i> ” – TMEs).	59
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.1	Capítulo I - Efeitos da aplicação de cama de aves compostada e não compostada em dois solos subtropicais sobre colêmbolos da espécie <i>Folsomia candida</i>	63
4.1.1	Introdução	64
4.1.2	Material e Métodos	65
4.1.3	Resultados	69

4.1.4	Discussão	73
4.1.5	Conclusões	76
	Referências	77
4.2	Capítulo II - Efeitos da cama de aves sobre a sobrevivência e reprodução de ácaros <i>Hypoaspis aculeifer</i>	81
4.2.1	Introdução	82
4.2.2	Material e métodos.....	83
4.2.3	Resultados	86
4.2.4	Discussão	89
4.2.5	Conclusão.....	91
	Referências	91
4.3	Capítulo III - Efeitos da cama de aves sobre a sobrevivência e reprodução de <i>Eisenia andrei</i> e <i>Enchytraeus crypticus</i> (Oligochaetas).....	95
4.3.1	Introdução	96
4.3.2	Material e Métodos	97
4.3.3	Resultados	101
4.3.4	Discussão	107
4.3.5	Conclusões	111
	Referências	111
4.4	Capítulo IV - Efeitos do uso de cama de aves sobre a fauna do solo: Um estudo de semi-campo com TMEs (<i>Terrestrial Model Ecosystems</i>) em solo subtropical	117
4.4.1	Introdução	118
4.4.2	Material e métodos.....	120
4.4.3	Resultados e Discussão	128
4.4.4	Conclusões	137
	Referências	137
4.5	Capítulo V - Avaliação da fauna edáfica em nitossolo com e sem histórico de uso de cama de aves em modelos de ecossistemas terrestres	143

4.5.1	Introdução	144
4.5.2	Material e métodos.....	145
4.5.3	Resultados e Discussão	152
4.5.4	Conclusões	162
	Referências	162
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	167
	APÊNDICES	170

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, a avicultura de corte consolidou-se como uma importante atividade do agronegócio e da economia brasileira. O Brasil é um dos principais países produtores e exportadores mundiais de carne de frango. Grande parte da produção de frangos de corte está concentrada na região Sul do país (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL - ABPA, 2017). Nessa região, a avicultura é uma atividade desenvolvida em pequenas e médias propriedades rurais (Rogeri et al., 2015), em sistemas intensivos, o que gera grandes quantidades de dejetos em pequenas áreas territoriais (HAHN et al., 2012).

O uso da cama de aves como fertilizante orgânico em áreas agrícolas é uma prática frequente em regiões com produção intensiva de frangos de corte como é o caso da região Oeste do estado de Santa Catarina (LOURENÇO et al., 2013). Entretanto, os impactos dessa prática sobre a fauna edáfica e a qualidade do solo ainda não são conhecidos na região. Além disso, não se tem informações a respeito da influência do tratamento de compostagem da cama de aves antes de sua aplicação no solo no que se refere à toxicidade desse resíduo para os invertebrados do solo.

Algumas perguntas importantes relacionadas ao uso desse resíduo como fertilizante orgânico ainda permanecem sem respostas. Altas doses de cama de aves afetam a sobrevivência, reprodução, densidade e diversidade dos organismos da fauna do solo? Quais os fatores (tratamento da cama, doses, tipo solo, etc.) controlam estes possíveis riscos? Esses aspectos precisam ser estudados para compreender como essa prática pode interferir e modificar, positivamente ou negativamente, a estrutura das comunidades edáficas ao longo do tempo, especialmente em solos da região Sul do Brasil.

Avaliar e compreender como a aplicação da cama de aves no solo pode influenciar a fauna edáfica é uma questão de extrema importância para o estabelecimento de critérios adequados de gerenciamento e descarte desses resíduos orgânicos de forma a garantir a manutenção da qualidade do solo. Nesse contexto, o presente estudo teve por objetivo avaliar os efeitos da utilização de doses de cama de aves compostada e não compostada sobre a fauna do solo com base em ensaios ecotoxicológicos de laboratório e em condições de semi-campo (*Terrestrial models ecosystems* - TMEs).

1.1 HIPÓTESES

1. O uso de cama de aves como fertilizante orgânico no solo oferece risco para a sobrevivência e reprodução de organismos da fauna edáfica;
2. O efeito do uso da cama de aves como fertilizante orgânico depende de aspectos como, tipo de solo, quantidade aplicada e tratamento da cama na propriedade (compostagem);
3. A aplicação de cama de aves no solo altera a estrutura das comunidades edáficas;
4. O uso contínuo de cama de aves (uso histórico) promove mudanças na densidade e diversidade de grupos da fauna edáfica;
5. A utilização de Modelos de Ecossistemas Terrestres como ambiente para o desenvolvimento de testes ecotoxicológicos constitui uma ferramenta importante na avaliação dos efeitos da aplicação de cama de aves nos solos sobre a diversidade e funções exercidas pela fauna do solo.

1.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos da utilização de doses de cama de aves compostada e não compostada sobre a fauna do solo com base em ensaios ecotoxicológicos padronizados e ensaios em condições de semi-campo (*Terrestrial Models Ecosystems* - TMEs).

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Avaliar o efeito de doses de cama de aves sobre a sobrevivência e reprodução de grupos de organismos representantes da meso e macrofauna edáfica (ácaros, colêmbolos, enquistreídeos e minhocas) por meio de ensaios ecotoxicológicos padronizados ISO e OECD;
2. Avaliar se o tratamento de compostagem da cama de aves altera a toxicidade desse resíduo para a fauna do solo;
3. Estudar o efeito da aplicação de cama de aves sobre parâmetros de diversidade e atividade da fauna do solo e sua relação com a oferta de serviços de ecossistemas, utilizando ensaios em condições de semi-campo (TMEs);
4. Contribuir na determinação de ensaios com a fauna do solo que sejam adequados para serem utilizados em avaliações ecotoxicológicas de matrizes orgânicas complexas (dejetos animais).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 AVICULTURA DE CORTE

A avicultura de corte é uma atividade importante do agronegócio brasileiro. Atualmente, o Brasil é o maior exportador e o segundo maior produtor mundial de carne de frango. De acordo com os dados da Associação Brasileira de Proteína Animal – ABPA (2017) no ano de 2016, o país produziu cerca de 12,9 milhões de toneladas de carne de frango, sendo superado apenas pelos Estados Unidos, maior produtor com 18,26 milhões de toneladas.

A região Sul do país destaca-se no cenário nacional por possuir um dos maiores sistemas agroindustriais voltados à cadeia produtiva de frangos de corte. Os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná respondem por 63,63% dos abates de frango do país e 76,29% de toda exportação brasileira (ABPA, 2017).

No estado de Santa Catarina a produção concentra-se especialmente na região Oeste, em pequenas e médias propriedades rurais (Lourenço et al., 2013), onde as aves são criadas principalmente em sistemas de confinamento (NUERNBERG et al., 2016).

Nas últimas décadas a indústria avícola passou por grandes mudanças estruturais no setor para atender a crescente demanda no fornecimento de carne e ovos (MAHESHWARI, 2013). O sistema tradicional de criação foi substituído pelos sistemas intensivos de produção, caracterizados pela criação de aves em confinamento (HAHN, 2004).

Paralelo ao crescimento dos índices produtivos e os ganhos econômicos promovidos pela intensificação da produção surgiram preocupações ambientais relacionadas à geração e disposição dos resíduos produzidos pela atividade (GERBER et al., 2008; ORRICO JÚNIOR et al., 2010).

2.1.1 Avicultura e produção de cama de aves

A avicultura de corte gera um grande volume de cama de aves (HAHN et al., 2012; LOURENÇO et al., 2013). Estima-se que a quantidade de cama de aves gerada anualmente no Brasil seja cerca de 8 a 10 milhões de toneladas/ano (DALÓLIO et al., 2017).

A cama de aves consiste em um resíduo composto pela mistura do material utilizado como substrato para cama, com as excretas das aves, penas, descamações da pele, restos de alimento e água que são desperdiçados (HUANG et al., 2015). Dentre os materiais comumente utilizados como substrato para compor a cama podemos destacar, a serragem,

maravalha, palha de trigo, casca de amendoim e arroz, entre outros, dependendo da disponibilidade na região (PERONDI et al., 2017). Na região Sul do Brasil, o material frequentemente utilizado é a maravalha proveniente de madeira de reflorestamento de pinus (*Pinus elliottii*) ou eucalipto (*Eucalyptus* spp.).

Na avicultura brasileira, a reutilização da cama para a criação de mais de um lote de frangos é uma prática comum (Zortéa et al., 2015) e desejável do ponto de vista econômico e ambiental. Uma vez que, reduz os custos com aquisição de substratos para a cama nova, incorpora nutrientes na cama e melhora qualidade do resíduo para posterior utilização como fertilizante orgânico e, além disso, reduz o volume de cama para descarte diminuindo os impactos ambientais (CARVALHO et al., 2011).

A cama pode ser reutilizada para criação de quatro a oito lotes, sendo, o uso por seis lotes o procedimento mais recomendado, ou seja, uma troca de cama ao ano (SILVA, 2011). No entanto, para que a cama possa ser reutilizada por vários lotes consecutivos, é necessário realizar o tratamento da mesma, durante o intervalo entre a saída de um lote e a entrada de outro (período de vazio sanitário), com a finalidade de reduzir e/ou eliminar microrganismos patogênicos (SILVA, 2011).

Os principais métodos de tratamento utilizados no Brasil são a adição de cal na cama, a fermentação da cama em leira ou a cobertura da cama com lona plástica (SILVA, 2011; LOPES et al., 2015). A realização do processo de fermentação da cama, onde ocorre a elevação da temperatura e a redução do pH, decorrentes da atividade microbiana, é fundamental para reduzir a presença de patógenos (GARCIA et al., 2011).

Outra prática realizada nesse período de vazio sanitário é aplicação de inseticidas químicos na cama, como por exemplo, compostos a base de cipermetrina, para o controle do cascudinho de aviário (*Alphitobius diaperinus*) (ZORTÉA et al., 2015).

A cama de aves apresenta elevados teores de nutrientes, principalmente carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (Markou, 2015), e metais, como cobre (Cu) e zinco (Zn) (OVIEDO-RONDÓN, 2008; BOLAN et al., 2010). A composição química desse resíduo pode apresentar grande variação entre as granjas e as diferentes regiões dependendo da origem da cama e das práticas de manejo da propriedade (FONT-PALMA, 2012; ROGERI et al., 2016). Essa variação é atribuída, as diferenças nos sistemas de criação empregados, número de lotes criados, tipo de material utilizado como substrato para a cama, sistema de comedouros e bebedouros, método de limpeza e armazenamento utilizados (CARVALHO et al., 2011). Em um estudo recente, Rogeri et al. (2016) avaliando a composição química de diversas amostras de cama de aves produzidas em sistemas de confinamento na região Sul do

Brasil, encontraram grande variabilidade na composição das camas. As concentrações médias de nutrientes N, P₂O₅ e K₂O totais encontradas pelos respectivos autores foram de 2,2, 3,0 e 2,9%, respectivamente.

Atualmente, a principal alternativa para o descarte deste resíduo é a aplicação em solos agrícolas como fertilizante na adubação de lavouras e pastagens. Outra forma de destino é o seu uso na fabricação de fertilizantes organo-minerais (DALÓLIO et al., 2017).

A aplicação de cama de aves no solo quando realizada de maneira adequada é uma prática benéfica e viável, uma vez que disponibiliza nutrientes as plantas (Huang et al., 2015) podendo suprir parcial ou totalmente os fertilizantes químicos (Silva et al., 2011), além de promover melhorias nas propriedades, químicas, físicas e biológicas do solo (VALADÃO et al., 2011). Por outro lado, esses resíduos não tratados e utilizados de maneira inadequada podem resultar na contaminação ambiental (OVIEDO-RONDÓN, 2008; RAGAGNIN et al., 2013).

A realização da compostagem da cama de aves antes de sua aplicação no solo é uma prática recomendada para minimizar os impactos nos ecossistemas (HAHN et al., 2012). A compostagem é um processo de decomposição biológica espontânea de materiais orgânicos em um ambiente aeróbio. Durante o processo ocorre liberação de calor, CO₂, nutrientes e formação de matéria orgânica humificada. A finalidade da compostagem é a conversão de resíduos orgânicos sólidos em um condicionador do solo com nutrientes mais estáveis, sem compostos fitotóxicos, patógenos e sementes de plantas daninhas, etc. (KELLEHER et al., 2002; BERNAL, et al., 2009; KHAN et al., 2014).

Esse processo é relativamente rápido, levando em torno de 4 a 6 semanas para obter um material estabilizado (Kelleher et al., 2002), no entanto, esse período depende muito das condições ambientais e das características do resíduo. Entre os principais fatores que podem influenciar o processo da compostagem é possível destacar, o equilíbrio de nutrientes, especialmente relação C/N, tamanho de partículas, temperatura, pH, umidade, aeração, entre outros (BERNAL et al., 2009). A relação C/N adequada esta entre 20-30:1 sendo que valores desse parâmetro inferiores a esse intervalo resultam em perdas de N por volatilização de amônia (CZEKAŁA et al., 2015). Se a relação C/N for alta o processo por sua vez, é muito lento devido o excesso de substrato degradável para os microrganismos e a insuficiência de N (BERNAL et al., 2009).

A compostagem é uma forma de tratamento utilizada e recomendada para a redução dos efeitos negativos que podem resultar da aplicação de resíduos orgânicos no solo (HAHN et al., 2012; ONWOSI et al., 2017). Diversos estudos na literatura mostram que essa prática é eficaz na redução da concentração de antibióticos e outros produtos veterinários (Ramaswamy

et al., 2010; Žižek et al., 2011; Ho et al., 2013), compostos fitotóxicos (Delgado et al., 2010) e inativação de microrganismos patogênicos (Hahn et al., 2012) na cama de aves, tornando a aplicação mais segura após o tratamento.

No entanto, a realização da compostagem dos dejetos de animais apresenta um custo maior do que a utilização direta dos dejetos frescos (Bernal et al., 2009), assim, muitas vezes por questões práticas e/ou econômicas esse tratamento acaba não sendo realizado nas propriedades rurais e os resíduos são aplicados diretamente no solo logo após remoção dos galpões o que pode aumentar os riscos de contaminação do ambiente.

As elevadas quantidades de nutrientes, especialmente N e P, presentes na cama de aves, também podem ocasionar impactos adversos e significativos ao ambiente se esse resíduo não for devidamente utilizado (RAGAGNIN et al., 2013). Estima-se que os frangos de corte excretam cerca de 55% do N total, 70% do P e 80% do K ingerido na dieta (BOLAN et al., 2010).

A dieta das aves é composta em grande parte por ingredientes de origem vegetal (grãos). Nesses ingredientes, a maior parte do fósforo se encontra na forma de fitato (ROSTAGNO et al., 2011; KATHIRVELAN et al., 2015). Tem sido relatado na literatura que cerca de 60 até 80% do P presente nesses ingredientes encontra-se na forma de fitato (KATHIRVELAN et al., 2015; ABDEL-MEGEED e TAHIR, 2015). Nessa forma, o P apresenta baixa digestibilidade pelas aves que não tem atividade significativa de enzimas como a fitase (Tizziani et al., 2016; Abdel-Megeed e Tahir, 2015), contribuindo para a presença de altos níveis de P nos resíduos e no ambiente (KAHINDI et al., 2017).

O nitrogênio é outro nutriente presente na cama de aves em grandes concentrações em função da dieta fornecida às aves (AITA et al., 2013). A maior parte do nitrogênio presente nesse resíduo encontra-se na forma orgânica (Rogeri et al., 2016), como ureia e proteínas (KELLEHER et. al., 2002; FONT-PALMA, 2012). Uma grande quantidade desse N orgânico, cerca de 40 a 90%, pode ser convertido em amônia ($N-NH_3$) ou amônio ($N-NH_4^+$) dependendo das condições ambientais (KELLEHER et. al., 2002; FONT-PALMA, 2012). A NH_3 está suceptível a perdas por volatilização, enquanto o NH_4^+ pode ser transformado em nitrato ($N-NO_3^-$), pela nitrificação, estando sujeito a perdas por lixiviação.

A nitrificação é uma reação que ocorre de forma espontânea em solos com presença de oxigênio, onde todo NH_4^+ existente é convertido em NO_3^- em um período de aproximadamente duas a três semanas. Essa transformação do N é indesejável, porque os solos brasileiros apresentam carga elétrica negativa nos valores de pH utilizados para a produção de culturas. O NH_4^+ por ter carga elétrica positiva, é retido pelas cargas negativas do

solo, diferente do NO_3^- , que por possuir o mesmo tipo de carga do solo permanece totalmente na solução do solo podendo ser perdido por lixiviação (ERNANI, 2003).

A época da aplicação da cama de aves no solo é um fator que pode determinar o potencial poluente desse resíduo em função da dinâmica do N e outros nutrientes no solo. De acordo com Gerber et al. (2008), a aplicação desse resíduo no solo na época correta do ano pode contribuir para redução das perdas de nutrientes por águas superficiais e subterrâneas e para atmosfera, otimizando a reciclagem pelas plantas. Os autores reportam que o período adequado apresenta relação com várias variáveis, incluindo o clima, as condições do solo e estágio de crescimento das culturas.

Rogerl et al. (2015) relatam que a taxa com que o NH_4^+ presente na cama de aves é convertido a NO_3^- após a sua aplicação ao solo é um determinante do potencial poluidor, uma vez que, a presença precoce de NO_3^- no solo antes dos períodos de maior demanda em N pelas culturas, poderá acarretar em perdas significativas de N por lixiviação.

Em condições de campo, sabe-se que, o momento da remoção da cama de aves dos galpões nem sempre condiz com o período adequado para a aplicação no solo, entretanto, nem sempre isso é levado em consideração pelos produtores, o que pode resultar no maior risco de contaminação do solo e da água.

A aplicação de cama de aves também contribui para a contaminação do ambiente com metais pesados, especialmente em regiões com produção intensiva de aves. Os metais como Cu e Zn são adicionados na dieta das aves como promotores de crescimento, sendo comum observar níveis altos destes metais nos resíduos (Oviedo-Rodon, 2008; Bolan et al., 2010) e em solos que recebem aplicação em longo prazo de cama de aves (JAJA et al., 2013).

A presença de resíduos de medicamentos veterinários, antimicrobianos e seus metabólitos na cama de aves também tem gerado muita preocupação (Leal et al., 2012; Netto et al., 2014), já que a persistência desses compostos no ambiente pode levar ao desenvolvimento de bactérias resistentes aos antibióticos (NETTO et al., 2014).

Além dos compostos veterinários, também são motivos de preocupação os resíduos de inseticidas químicos, utilizados em larga escala para controle sanitário nas criações avícolas e que podem estar presentes na cama de aves, contaminando o solo e ocasionando efeitos adversos sobre organismos não alvos, quando esse resíduo é utilizado como fertilizante em áreas agrícolas (ZORTÉA et al., 2015).

Em uma escala regional, a produção intensiva de frangos de corte pode resultar em impactos ambientais devido à elevada concentração da produção em pequenas áreas geográficas e a indisponibilidade de áreas suficientes para aplicação desse resíduo como

fertilizante de acordo com critérios agronômicos e ambientais levando a desequilíbrio e/ou excesso de nutrientes no solo. Dentro desse cenário, podemos citar como exemplo a região Sul do Brasil, e mais especificamente o estado de Santa Catarina onde a criação de aves se caracteriza por ser predominantemente desenvolvida em pequenas e médias propriedades rurais. Os resíduos oriundos da produção são utilizados como fertilizante nas áreas agrícolas próximas as unidades produtoras e em razão do grande volume produzido, geram problemas ambientais, principalmente relacionados com lixiviação de nitrato e volatilização de amônia (LOURENÇO et al., 2013).

2.2 FAUNA DO SOLO, SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E ECOTOXICOLOGIA COMO FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL

A fauna do solo é composta por organismos que vivem toda ou parte de sua vida no solo (BARETTA et al., 2011; POMPEO et al., 2016), sendo representada por diversos grupos de invertebrados como, por exemplo, Araneae, Chilopoda, Diplopoda, Isopoda, Oligochaetas, entre outros, os quais utilizam o solo e a serapilheira como habitat e fonte de alimento para o seu desenvolvimento (PEREIRA et al., 2015).

A fauna do solo é um componente importante do ecossistema terrestre, contribuindo com importantes processos ecossistêmicos e serviços ambientais (BROWN et al., 2015). De acordo com *Millennium Ecosystem Assessment* (2005), os serviços ecossistêmicos podem ser definidos como os benefícios diretos e indiretos obtidos pelo homem a partir dos ecossistemas. Esses serviços podem ser agrupados em quatro categorias:

(1) Serviços de suporte: são aqueles que fornecem as condições necessárias para a provisão dos demais serviços, como por exemplo, a ciclagem de nutrientes, formação do solo, produção primária, conservação da biodiversidade;

(2) Serviços de provisionamento: compreendem os produtos obtidos dos ecossistemas e que são disponibilizados ao homem, como, alimentos, água, recursos genéticos, entre outros;

(3) Serviços de regulação: são aqueles relacionados à capacidade dos ecossistemas regularem processos ecológicos essenciais de suporte à vida, através de ciclos biogeoquímicos e outros processos da biosfera, como exemplo, regulação do clima e dos fluxos de água, controle biológico, polinização, entre outros;

(4) Serviços culturais que incluem a diversidade cultural, que contribui para o bem-estar da sociedade, como recreação, oportunidades de lazer, entre outros.

Os diferentes grupos da fauna do solo contribuem de maneira direta ou indireta, especialmente através dos serviços de suporte e regulação para o fornecimento de todos os serviços ambientais (LAVELLE et al., 2006; BROWN et al., 2015). As funções básicas dos ecossistemas terrestres tais como, ciclagem de nutrientes, decomposição, produtividade primária, entre outras, dependem da atividade dos organismos do solo (WURST et al., 2012). Por exemplo, os invertebrados do solo atuam na ciclagem de nutrientes alimentando-se diretamente de materiais vegetais e substratos orgânicos, a fragmentação destes materiais aumenta e estimula a sua taxa decomposição (COLEMAN e WALL, 2015).

A fauna do solo também apresenta um importante papel na formação e modificação da estrutura do solo através da criação de estruturas biogênicas, como túneis, galerias, ninhos e coprólitos podendo também modificar a distribuição de nutrientes ao longo do perfil do solo (KORASAKI et al., 2013).

A avaliação e proteção da estrutura e funcionamento das comunidades do solo é um fator essencial para a manutenção dos serviços ecossistêmicos (SCHOLZ-STARKE et al., 2013). A perda de grupos funcionais benéficos de invertebrados do solo pode resultar na perda dos processos essenciais do ecossistema, podendo resultar ao longo do tempo na redução qualidade, fertilidade e capacidade produtiva do solo (COCK et al., 2012). Esse fato tem sido amplamente reconhecido e tem resultado na atenção para a importância do solo e, em particular para a biodiversidade do solo (COLEMAN e WALL, 2015).

As atividades antrópicas, entre elas a produção animal intensiva e o gerenciamento e descarte inadequado dos resíduos animais podem ocasionar a contaminação ambiental e afetar as populações e a atividade da fauna do solo, levando a alteração de vários processos, perdas de qualidade e funcionalidade do solo. Esse fato tem gerado uma crescente preocupação e ao longo dos últimos anos, estudos empregando diferentes abordagens têm sido desenvolvidos para a avaliação dos impactos advindos dessas práticas em curto e em longo prazo sobre diversos parâmetros biológicos do solo (BARETTA et al., 2003; ALVES et al., 2008; SILVA et al., 2014; SEGAT et al., 2015; GEREMIA et al., 2015; MACCARI et al., 2016; SEGAT, 2016; SILVA et al., 2016).

O emprego da Ecotoxicologia como ferramenta para a avaliação dos efeitos do uso de dejetos animais sobre a fauna e a qualidade do solo tem crescido no Brasil, especialmente nos últimos anos (SEGAT et al., 2015; MACCARI et al., 2016; SEGAT, 2016). Essa ciência permite avaliar os efeitos tóxicos de substâncias e compostos sobre os organismos vivos em diferentes níveis de organização biológica por meio do uso de métodos mundialmente padronizados e validados (SEGAT et al., 2018). Esses métodos envolvem abordagens em

diferentes níveis de complexidade, desde ensaios em laboratório com espécies padronizadas, ensaios em condições de semi-campo como exemplo, modelos de ecossistemas terrestres (TMEs) e ensaios a campo (SEGAT et al., 2018).

Em uma abordagem mais simples, a ecotoxicologia avalia os efeitos sobre espécies únicas de organismos selecionados e tenta extrapolar as concentrações de efeito obtidas para níveis seguros para populações e comunidades (VAN GESTEL, 2012). Vários organismos representantes da meso e macrofauna do solo têm sido utilizados nesses estudos ecotoxicológicos para avaliar os efeitos dos contaminantes no ambiente (OLIVEIRA FILHO et al., 2017). Entre as espécies amplamente utilizadas nos ensaios em laboratório que possuem protocolos padronizados podemos destacar os colêmbolos *Folsomia candida*, minhocas *Eisenia andrei*, ácaros *Hypoaspis aculeifer*, enquitreídeos *Enchytraeus crypticus*, entre outras (VAN GESTEL, 2012; OLIVEIRA FILHO et al., 2017).

A contaminação do solo pode afetar de maneira direta ou indireta os organismos expostos (Kuperman et al., 2009), sendo assim, a resposta de testes com apenas uma espécie pode não ser suficiente para prever efeitos em nível do funcionamento do ecossistema (ANDRÉS e DOMENE, 2005).

Ao longo dos últimos anos diferentes métodos, entre eles, os ensaios em condições de semi-campo com *Terrestrial model ecosystems* (TMEs), têm sido propostos, testados e utilizados para avaliação dos efeitos de substâncias químicas e dejetos animais em comunidades naturais do solo em um cenário mais real de exposição (KNACKER, et al., 2004; VAN GESTEL, 2012; SEGAT, 2016). Esses métodos, que incluem os ensaios em mesocosmos, buscam aliar vantagens que existem entre ensaios de laboratório, como por exemplo, reproduzibilidade com ensaios de campo com maior realismo ecológico (KUPERMAN et al., 2009).

Os TMEs consistem em amostras de solo com estrutura preservada incluindo a biota nativa (Förster et al., 2009; Scholz-Starke et al., 2013), coletadas a campo, mantidas e testadas em condições controladas de laboratório (KNACKER et al., 2004; WEYERS et al., 2004).

Os ensaios em modelos de ecossistemas terrestres têm sido considerados uma ferramenta adequada para avaliar esses efeitos de contaminantes sobre a estrutura das comunidades do solo (SCHÄFFER et al., 2008; SCHOLZ-STARKE et al., 2013; SEGAT, 2016). Por meio desses ensaios é possível avaliar, além dos efeitos diretos da contaminação, os efeitos em longo prazo, indiretos e subletais em parte ou toda estrutura da cadeia alimentar (SCHOLZ-STARKE et al., 2013).

Na região Sul do Brasil, os critérios utilizados para recomendação de doses de cama de aves a serem aplicadas no solo como fertilizante são baseadas na concentração média de macronutrientes, estimada a partir da categoria animal e número de lotes criados sobre a cama de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFSRS/SC, 2016; ROGERI et al., 2016).

No entanto, estudos recentes desenvolvidos em solos dessa região, mostram que, a determinação de doses de dejetos animais baseada apenas análise de parâmetros químicos não fornecem informações suficientes para garantir a aplicação ambientalmente segura desses resíduos no solo e avaliações ecotoxicológicas são sugeridas como métodos complementares para determinar a toxicidade dos dejetos animais e os riscos para o ambiente (SEGAT et al., 2015; MACCARI et al., 2016). A análise apenas de parâmetros químicos não permite prever os efeitos da interação de diversos compostos, assim como a sua biodisponibilidade e toxicidade para organismos edáficos (RENAUD et al., 2017).

REFERÊNCIAS

- ABDEL-MEGEED, A.; TAHIR, A. Reduction of phosphorus pollution from broilers waste through supplementation of wheat based broilers feed with phytase. **Journal of Chemistry**, sl., v. 2015, p. 1-3, 2015.
- AITA, C. et al. Redução na velocidade da nitrificação no solo após aplicação de cama de avário com dicianodiamida. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 8, p.1387-1392, 2013.
- ALVES, M. V. et al. Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos e dejetos de suínos no oeste do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 589-598, 2008.
- ANDRÉS, P.; DOMENE, X. Ecotoxicological and fertilizing effects of dewatered, composted and dry sewage sludge on soil mesofauna: a TME experiment. **Ecotoxicology**, sl., v. 14, p. 545-557, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório anual 2017**. Disponível em: < http://abpa-br.com.br/storage/files/3678c_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web_reduzido.pdf > Acesso em: 19 set. 2017.

BARETTA, D. et al. Fauna edáfica avaliada por armadilhas de catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 2, n. 2, p.97-106, 2003.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; DE OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (Ed.). **Tópicos especiais em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. p. 141-192.

BERNAL, M. P.; ALBUQUERQUE, J. A.; MORAL, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. **Bioresource Technology**, Essex, v. 100, p. 5444-5453, 2009.

BOLAN, N. S. et al. Uses and management of poultry litter. **World's Poultry Science Journal**, Cambridge, v. 66, n. 4, p. 673-698, 2010.

BROWN, G. G.; NIVA, C. C.; ZAGATO, M. R. G.; FERRREIRA, S. A.; NADOLNY, H. S.; CARDOSO, G. B. X.; SANTOS, G.; SANTOS, A.; MARTINEZ, G. A.; PASINI, A.; BARTZ, M. L. C.; SAUTTER, K. D.; THOMAZINI, M. J.; BARETTA, D.; SILVA, E.; ANTONIOLLI, Z.; DECAËNS, T.; LAVELLE, P. M.; SOUSA, J. P.; CARVALHO, F. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica** [recurso eletrônico]. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 122-154.

CARVALHO, T. M. R. et al. Qualidade da cama e do ar em diferentes condições de alojamento de frangos de corte. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, Brasília, v.46, n. 4, p. 351-361, 2011.

COCK, M. J. et al. The positive contribution of invertebrates to sustainable agriculture and food security. **CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, United Kingdom, v. 7, n. 043, p. 1-27, 2012.

COLEMAN, D. C.; WALL, D. H. Soil fauna: occurrence, biodiversity, and roles in ecosystem function. In: PAUL, E. A. (Ed.). **Soil microbiology, ecology, and biochemistry**. 4. ed. Oxford: Academic Press, 2015, p. 111-149.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2016. 376 p.

CZEKAŁA, W.; DACH, J.; LUDWICZAK, A.; PRZYBYŁAK, A.; BONIECKI P.; KOSZELA, K.; ZABOROWICZ, M.; PRZYBYŁ, K.; WOJCIESZAK, D.; WITASZEK, K.. The use of image analysis to investigate C:N ratio in the mixture of chicken manure and straw. In: Proc. SPIE. 9631, **Seventh International Conference Digital Image Processing (ICDIP 205)**, v. 963117, 2015. p. 1-6.

DALÓLIO, F. S. et al. Poultry litter as biomass energy: A review and future perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdã, v. 76, n. 11, p. 941-949, 2017.

DELGADO, M. Mar et al. Phytotoxicity of uncomposted and composted poultry manure. **African Journal of Plant Science**, sl., v. 4, n. 5, p. 154-162, 2010.

ERNANI, P. R. **Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para a macieira**. Lages: Graphel, 2003. 56 p.

FONT-PALMA, C. Characterisation, kinetics and modelling of gasification of poultry manure and litter: An overview. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 53, p. 92-98, 2012.

FÖRSTER, B. et al. Tropical terrestrial model ecosystems for evaluation of soil fauna and leaf litter quality effects on litter consumption, soil microbial biomass and plant growth. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n. 8, p.1063-1071, 2009.

GARCIA, R. G.; PAZ, I. C. L. A.; CALDARA, F. R. Papel da cama na produção e no bem estar de frangos de corte. **Revista Avisite**, Campinas, v.5, p.46-50, 2011.

GERBER, P.; OPIO, C.; STEINFELD, H. Poultry production and the environment - a review. In: **Poultry in the 21st century, 2007**, Bangkok. Procedures... Bangkok: FAO, p. 27, 2008.

GEREMIA, E. V. et al. Fauna edáfica em pastagem perene sob diferentes fontes de nutrientes. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 16, n. 4, p. 17-30, 2015.

HAHN, L. **Processamento da cama de aviário e suas implicações nos agroecossistemas**. 2004. 130 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

HAHN, L. et al. Persistência de patógenos e do antibiótico salinomicina em pilhas de compostagem de cama de aviário. **Archivos de Zootecnia**, Cordoba, v. 61, n. 234, p. 279-285, 2012.

HO, Y. B. et al. Degradation of veterinary antibiotics and hormone during broiler manure composting. **Bioresource Technology**, Essex, v. 131 p. 476-484, 2013.

HUANG, Y. et al. Biochar and renewable energy generation from poultry litter waste: A technical and economic analysis based on computational simulations. **Applied Energy**, London, v. 160, n. 15, p. 656-663, 2015.

JAJA, N. et al. Trace metal enrichment and distribution in a poultry litter - amended soil under different tillage practices. **The Open Agriculture Journal**, sl., v. 7, p. 88-95, 2013.

KAHINDI, R. K. et al. Performance and phosphorus utilization of broiler chickens fed low phytate barley and pea based diets with graded levels of inorganic phosphorus. **Annals of Animal Science**, sl., v. 17, p. 205-215, 2017.

KATHIRVELAN, C. et al. Significance of usage of phytase in poultry nutrition. **International Journal of Science, Environment and Technology**, India, v. 4, n. 4, p. 1214-1217, 2015.

KELLEHER, B. P. et al. Advances in poultry litter disposal technology – a review. **Bioresource Technology**, Essex, v. 83, p. 27-36, 2002.

KHAN, N. et al. Maturity indices in co-composting of chicken manure and sawdust with biochar. **Bioresource Technology**, Essex, v. 168, p. 245-251, 2014.

KNACKER, T. et al. Ring-testing and field validation of a Terrestrial Model Ecosystem (TME) - an instrument for testing potentially harmful substances: conceptual approach and studies design. **Ecotoxicology**, sl., v. 13, p.9-27, 2004.

KORASAKI, V.; MORAIS, J. W.; BRAGA, R. F. Macrofauna. In: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMER, S. L. (Ed.) **O ecossistema solo: Componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras: UFLA, 2013. p. 119-137.

KUPERMAN, R. G. et al. State of the science and the way forward for the ecotoxicological assessment of contaminated land. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 8, p. 811-824, 2009.

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

LEAL, R. M. P. et al. Occurrence and sorption of fluoroquinolones in poultry litters and soils from São Paulo State, Brazil. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 432 p. 344-349, 2012.

LOPES, M. et al. An assessment of the effectiveness of four in-house treatments to reduce the bacterial levels in poultry litter. **Poultry Science**, Champaign, v. 94, p. 2094-2098, 2015.

LOURENÇO, K. S. et al. Crescimento e absorção de nutrientes pelo feijoeiro adubado com cama de aves e fertilizantes minerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n.2, p. 462-471, 2013.

MACCARI, A. P. et al. Ecotoxicological effects of pig manure on *Folsomia candida* in subtropical Brazilian soils. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 314, p. 113-120, 2016.

MAHESHWARI, S. Environmental impacts of poultry production. **Poultry, Fisheries & Wildlife Sciences**, Los Angeles, v. 1, n. 1, p. 1-2, 2013.

MARKOU, G. Improved anaerobic digestion performance and biogas production from poultry litter after lowering its nitrogen content. **Bioresource Technology**, Essex, v. 196, p. 726-730, 2015.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: a framework for assessment**. Washington, DC: Island Press, 2005. 245 p. Disponível em: <http://pdf.wri.org/ecosystems_human_wellbeing.pdf>. Acesso em: 11 Jan. 2018.

NETTO, P. T. et al. Antimicrobianos veterinários: uso na avicultura e ocorrência em cama de frango. **Revista Uniara**, Araraquara, v. 17, n. 2. p. 9-22, 2014.

NUERNBERG, G. B. et al. Efficiency of basalt zeolite and Cuban zeolite to adsorb ammonia released from poultry litter. **Journal of Environmental Management**, London, v. 183, p. 667-672, 2016.

OLIVEIRA FILHO, L. C. I. et al. Resíduo piritoso provoca toxicidade aguda e crônica em collembola e oligochaeta. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 18, n.1, p. 64-75, 2017.

ONWOSI, C. O. et al. Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects. **Journal of Environmental Management**, London, v. 190, p 140-157, 2017.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; JÚNIOR, J. DE. L. Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 538-545, 2010.

OVIEDO-RONDÓN, E. O. Tecnologias para mitigar o impacto ambiental da produção de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. esp., p. 239-252, 2008.

PEREIRA, J. M.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Fauna edáfica em florestas com Araucária. In: CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F. (Eds.) **Floresta com Araucária: Composição florística e biota do solo**. Piracicaba: FEALQ, p. 153-180, 2015.

PERONDI, D. et al. Steam gasification of poultry litter biochar for bio-syngas production. **Process Safety and Environmental Protection**, Rugby, v. 109, p. 478-488, 2017.

POMPEO, P. N. et al. Fauna e sua relação com atributos edáficos em Lages, Santa Catarina – Brasil. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 17, n. 1, p. 42-51, 2016.

RAGAGNIN, V. A. et al. Growth and nodulation of soybean plants fertilized with poultry litter. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 1, p. 17-24, 2013.

RAMASWAMY, J. et al. The effect of composting on the degradation of a veterinary pharmaceutical. **Bioresource Technology**, Essex, v. 101, n. 7, p. 2294-2299, 2010.

RENAUD, M. et al. Organic wastes as soil amendments – Effects assessment towards soil invertebrates. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 330, p. 149-156, 2017.

ROGERI, D. A. et al. Mineralização e nitrificação do nitrogênio proveniente da cama de aves aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n. 6, p. 534-540, 2015.

ROGERI, D. A. et al. Composition of poultry litter in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 40, p. 1-7, 2016.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C.; OLIVEIRA, R. F.; LOPES, D. C.; FERREIRA, A. L.; BARRETO, S. L. T.; EUCLIDES, R. F. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3ed. Viçosa, MG: UFV, 2011. 252p.

SCHÄFFER, A. et al. Semi-field methods are a useful tool for the environmental risk assessment of pesticides in soil. **Environmental Science and Pollution Research**, sl., v. 15, n.3, p. 176-177, 2008.

SCHOLZ-STARKE, B. et al. The response of soil organism communities to the application of the insecticide lindane in terrestrial model ecosystems. **Ecotoxicology**, sl., v. 22, p. 339-362, 2013.

SEGAT, J. C. et al. Ecotoxicological evaluation of swine manure disposal on tropical soils in Brazil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 122, p. 91-97, 2015.

SEGAT, J. C. **Avaliação ecotoxicológica da aplicação de dejeto líquido de suínos em solos subtropicais**. 2016. 304 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

SEGAT, J. C.; MACCARI, A. P.; BARETTA, C. R. D. M.; BARETTA, D. Ecotoxicologia como ferramenta para avaliação de contaminantes. In: do PRADO, G. P.; PASSOS, M. G.; BARETTA, D. (Org.). **Práticas de ensino em ciências e biologia**. Florianópolis: UDESC, 2018. p. 177-200.

SILVA, D. M. et al. Effects of pig slurry application on the diversity and activity of soil biota in pasture areas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.46, n.10, p.1756-1763, 2016.

SILVA, R. F. et al. Doses of liquid swine slurry on soil biota community under no tillage and minimum tillage. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n.3, p. 418-424, 2014.

SILVA, V. S. Métodos e segurança sanitária na reutilização de cama de aviários. In: PALHARES, J. C. P.; KUNZ, A. (Ed.). **Manejo ambiental na avicultura**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. p. 175-200.

TIZZIANI, T. et al. Available phosphorus levels in diets supplemented with phytase for male broilers aged 22 to 42 days kept in a high-temperature environment. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 45, n.2, p. 48-55, 2016.

VALADÃO, F. C. A. et al. Variação nos atributos do solo em sistemas de manejo com adição de cama de frango. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n.6, p. 2073-2082, 2011.

VAN GESTEL, C. A. M. Soil ecotoxicology: state of the art and future directions. **ZooKeys**, sl., v. 176, p. 275-296, 2012.

WEYERS, A. et al. Use of terrestrial model ecosystem data in environmental risk assessment for industrial chemicals, biocides and plant protection products in the EU. **Ecotoxicology**, sl., v. 13, 163-176, 2004.

WURST, S.; DE DEYN, G. B.; ORWIN, K. Soil biodiversity and functions. In: WALL, D. H.; BARDGETT, R. D.; BEHAN-PELLETIER, V.; HERRICK, J. E.; JONES, H.; RITZ, K.; SIX, J.; STRONG, D.-R.; VAN DER PUTTEN, W. H. (Ed.). **Soil ecology and ecosystem services**. Oxford: University Press, Oxford, UK, 2012. p. 28-44.

ŽIŽEK, S. et al. Does monensin in chicken manure from poultry farms pose a threat to soil invertebrates? **Chemosphere**, Oxford, v. 83, n.4, p. 517-523, 2011.

ZORTÉA, T. et al. Influence of cypermethrin on avoidance behavior, survival and reproduction of *Folsomia candida* in soil. **Chemosphere**, Oxford, v. 122, p. 94-98, 2015.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 SOLOS

Para o estudo foram utilizados dois solos do estado de Santa Catarina, representativos em termos de uso da cama de aves como fertilizante, classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006), como Nitossolo Vermelho distroférrico coletado no município de Concórdia, SC ($27^{\circ}31'17.10''$ S e $51^{\circ}99'08.14''$ O) e Cambissolo Húmico alumínico coletado no município de Lages, SC ($27^{\circ}76'56.07''$ S e $50^{\circ}28'53.65''$ O). Os parâmetros físico-químicos destes solos são apresentados no Apêndice A.

3.2 CAMA DE AVES

A cama de aves testada foi coletada em uma granja comercial de frangos de corte, selecionada de modo a representar o modelo de produção avícola empregado na região Sul do Brasil. Para tanto, foi realizada uma pesquisa com avicultores de diversos municípios da região Oeste do estado de Santa Catarina, através da aplicação de um questionário (Apêndice C). Com base nos conhecimentos técnicos e nos dados obtidos junto aos produtores rurais, foram levantadas informações relacionadas ao perfil das propriedades quanto ao sistema de produção, histórico de uso do solo, forma de manejo da cama de aves e uso desse resíduo na adubação de lavouras e pastagens. A partir dos resultados obtidos foi selecionada uma granja representativa para realização da coleta da cama de aves.

3.2.1 Histórico da cama de aves

O galpão de produção comercial de frangos de corte da granja escolhida apresentava dimensões 100 x 12 m (1.200 m²). O substrato base para a cama consistiu de maravalha de *Pinus elliottii* e a cama foi reutilizada para criação de oito lotes de frangos de corte. A densidade média de alojamento foi de 13.600 aves/lote e o tempo de duração médio de cada lote foi de 47 dias, com intervalo entre os lotes (vazio sanitário) de 15 dias. Após a retirada das aves em cada lote, 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 6º e 7º a cama de aves foi coberta com lona preta para fermentação por oito dias e em seguida foi realizada a aplicação de um inseticida químico a base de cipermetrina para o controle de cascudinho (*Alphitobius diaperinus*) (nome comercial

Vetancid). Durante o período de reutilização da cama, três lotes de frangos precisaram ser medicados com produtos veterinários para tratamento de enterite.

3.2.2 Procedimento de coleta

A cama de aves proveniente da criação de oito lotes (8º lote) de frangos de corte foi coletada logo após a saída das aves para o abate, em pontos distintos em toda extensão do galpão. Em seguida, o material coletado foi homogeneizado e separado em duas partes, uma destinada ao processo de compostagem na propriedade, por um período de 60 dias, para a utilização no tratamento com cama de aves compostada (C). A outra parte foi acondicionada em sacos plásticos e transportada para o laboratório de Solos e Sustentabilidade da UDESC - Oeste, Chapecó, SC, onde foi mantida em baixa temperatura -20 °C, visando à manutenção das características químicas, para posterior utilização no tratamento de cama de aves não compostada (NC). Os parâmetros físico-químicos da cama de aves compostada (C) e não compostada (NC) encontram-se apresentados no Apêndice B.

Apenas uma coleta foi realizada para as duas etapas do projeto que serão descritas a seguir.

3.3 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

O presente estudo foi desenvolvido em duas etapas com abordagens de diferentes níveis de complexidade, envolvendo ensaios de laboratório (Etapa 1) e ensaios em semi-campo (Etapa 2).

3.3.1 Etapa 1: Avaliação ecotoxicológica da cama de aves utilizando ensaios de laboratório padronizados com invertebrados do solo.

Essa etapa teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de doses de cama de aves sobre a sobrevivência e reprodução de organismos edáficos representantes da meso e macrofauna edáfica (ácaros, colêmbolos, enquietreídeos e minhocas). Essa etapa foi desenvolvida parte no Brasil e parte em Portugal conforme será descrito a seguir.

Os ensaios ecotoxicológicos com colêmbolos da espécie *Folsomia candida*, minhocas da espécie *Eisenia andrei* e enquietreídeos da espécie *Enchytraeus crypticus* foram

desenvolvidos no laboratório de Solos e Sustentabilidade no Departamento de Zootecnia da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC Oeste, Chapecó, SC.

Os ensaios com ácaros da espécie *Hypoaspis aculeifer* foram desenvolvidos no laboratório de Ecologia e Ecotoxicologia de Solos do Departamento de Ciências da Vida - Universidade de Coimbra - UC, Coimbra, Portugal, durante o período de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE).

A partir dos resultados obtidos nesses ensaios (valores de CE_{50}), três doses de cama de aves foram estabelecidas para serem testadas na Etapa 2 do projeto.

3.3.2 Etapa 2: Avaliação dos efeitos da aplicação da cama de aves sobre a fauna do solo em condições de semi-campo (ensaios com “*Terrestrial Model Ecosystems*” – TMEs).

Essa etapa do estudo teve por objetivo avaliar por meio de uma abordagem mais realística os efeitos da aplicação da cama de aves sobre comunidades naturais do solo em condições controladas de laboratório. Para isso, foram conduzidos dois experimentos com os seguintes objetivos:

Avaliar os efeitos da aplicação de doses de cama de aves sobre a fauna do solo em ensaios de semi-campo com TMEs (Experimento 1).

Comparar uma área sem histórico de uso de cama de aves e uma área com 30 anos de uso desse resíduo como fertilizante agrícola, buscando verificar ao longo do tempo se a aplicação continuada de cama de aves no solo causa diminuição da densidade e diversidade da fauna edáfica (Experimento 2).

Essa etapa do estudo foi desenvolvida no laboratório de Ecologia do Solo no Departamento de Ciência do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias da UDESC/CAV, Lages, SC.

Outros detalhes específicos em termos de material e métodos de cada etapa serão descritos em cada um dos capítulos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da presente Tese são apresentados na forma de cinco capítulos. Os capítulos I, II e III são referentes aos resultados obtidos nos ensaios ecotoxicológicos de laboratório com as espécies padronizadas (Etapa 1). E os capítulos IV e V são referentes aos ensaios em condições de semi-campo em modelos de ecossistemas terrestres - TMEs com comunidades naturais (Etapa 2). A seguir a descrição resumida de cada um dos capítulos:

Capítulo I - Efeitos da aplicação de cama de aves compostada e não compostada em dois solos subtropicais sobre colêmbolos da espécie *Folsomia candida*.

Capítulo II - Efeitos da cama de aves sobre a sobrevivência e reprodução de ácaros *Hypoaspis aculeifer*.

Capítulo III - Efeitos da cama de aves sobre a sobrevivência e reprodução de *Eisenia andrei* e *Enchytraeus crypticus* (Oligochaetas).

Capítulo IV - Efeitos do uso de cama de aves sobre a fauna do solo: Um estudo de semi-campo com TMEs (*Terrestrial Model Ecosystems*) em solo subtropical.

Capítulo V - Avaliação da fauna edáfica em Nitossolo com e sem histórico de uso de cama de aves em modelos de ecossistemas terrestres.

4.1 CAPÍTULO I - EFEITOS DA APLICAÇÃO DE CAMA DE AVES COMPOSTADA E NÃO COMPOSTADA EM DOIS SOLOS SUBTROPICAIS SOBRE COLÊMBOLOS DA ESPÉCIE *Folsomia candida*

RESUMO

A avicultura intensiva gera grandes quantidades de dejetos e estes, quando não tratados e utilizados adequadamente podem ocasionar a contaminação do solo e efeitos adversos para a fauna edáfica. O estudo teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de doses de cama de aves compostada (C) e não compostada (NC) sobre a sobrevivência e reprodução de colêmbolos da espécie *Folsomia candida* por meio de ensaios ecotoxicológicos padronizados (ISO). A cama de aves foi testada em dois solos do estado de Santa Catarina, representativos em termos de uso de cama de aves como fertilizante (Nitossolo Vermelho distroférrego e Cambissolo Húmico alumínico). Os tratamentos consistiram em doses de cama de aves C e NC determinadas com base na recomendação agronômica, adicionadas ao Nitossolo e Cambissolo. Os ensaios foram conduzidos em delineamento experimental inteiramente casualizado, com cinco repetições. A aplicação de cama de aves C e NC afetou negativamente a reprodução dos organismos nos dois solos estudados, sendo a magnitude dos efeitos dependente do tipo do solo e dose avaliada. No Nitossolo a compostagem da cama de aves reduziu a toxicidade do resíduo para os colêmbolos (CE_{50} de 33,64 e 12,41 t ha^{-1} para a C e NC, respectivamente). No Cambissolo não foram encontradas diferenças de toxicidade entre a cama de aves C e NC, os valores de CE_{50} foram semelhantes (CE_{50} de 46,15 e 44,63 t ha^{-1} , para C e NC, respectivamente). A cama de aves NC aplicada no Nitossolo foi o tratamento que ocasionou maior toxicidade para os colêmbolos causando uma redução significativa no número de juvenis em uma dose similar à utilizada em nível de campo (CE_{50} de 12,41 t ha^{-1}). Esses resultados mostram que a aplicação de cama de aves no solo sem tratamento prévio e critérios adequados pode representar uma fonte potencial de poluição do solo e ocasionar efeitos negativos para os colêmbolos da espécie *F. candida*.

Palavras-chaves: Compostagem. Ecotoxicologia terrestre. Mesofauna edáfica. Resíduo orgânico.

ABSTRACT

Intensive poultry production generate large amounts of manure and these, when not treated and used properly, can lead to soil contamination and adverse effects on soil fauna. The aim of this study was to evaluate the effects of increasing dosages the composted (C) and non composted poultry litter (NC) on the survival and reproduction of springtails *Folsomia candida* by means of standardized ecotoxicological tests. The poultry litter was tested in two soils representative of the state of Santa Catarina (Nitosol and Cambisol). The treatments consisted doses of poultry litter C and NC calculateds based the dose recommended agronomic, added to the two soils (Nitosol and Cambisol). The tests were carried out in a completely randomized design with five replicates. The application of poultry litter C and NC negatively affected the reproduction of the organisms in the two studied soils, the magnitude of these effects dependent on the soil type and dose evaluated. The Nitosol the composting of poultry litter decreased toxicity of manure for springtails (EC_{50} de 33.64 e 12.41 t ha^{-1} in the C e NC, respectively). The Cambisol were no differences in toxicity between poultry litter C and NC, the EC_{50} values were similar (EC_{50} de 46.15 e 44.63 t ha^{-1} , in the C e NC, respectively). The poultry litter NC added to Nitossolo was the treatment that caused greater

toxicity to the springtails causing a significant reduction in the number of juveniles at a dose similar to that used at the field (EC₅₀ of 12.41 t ha⁻¹). These results show that the application of poultry litter in the soil without previous treatment and adequate criteria may represent a potential source of soil pollution and cause negative effects for the springtail *F. candida*.

Key-words: Composting. Terrestrial ecotoxicology. Edaphic mesofauna. Organic waste.

4.1.1 Introdução

A avicultura de corte é uma das atividades do agronegócio brasileiro que mais cresceu nos últimos anos e isso pode ser comprovado pelos números de produção e exportação. O Brasil é o segundo maior produtor e o maior exportador mundial de carne de frango (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL - ABPA, 2017). O crescimento contínuo na escala de produção tem resultado na geração de um volume muito grande de resíduos, entre eles, a cama de aves. Estima-se que a quantidade de cama de aves gerada anualmente no país seja cerca de 8 a 10 milhões de toneladas/ano (DALÓLIO et al., 2017).

A cama de aves tem sido tradicionalmente aplicada nos solos brasileiros como fertilizante orgânico. Esse resíduo orgânico possui altos teores de nutrientes essenciais às plantas, especialmente nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), bem como, micronutrientes (MARKOU, 2015; AGYARKO-MINTAH et al., 2017). Quando utilizada corretamente, a sua aplicação no solo é uma opção viável e benéfica para reciclagem desses nutrientes e manutenção das propriedades químicas e físicas dos solos agrícolas (HUANG et al., 2015). Por outro lado, a aplicação no solo sem os critérios adequados pode resultar na contaminação do solo e da água devido ao acúmulo de nutrientes, especialmente N e P, metais como cobre (Cu) e zinco (Zn), patógenos *Escherichia coli* e *Salmonela* sp. (Oviedo-Rondón, 2008), resíduos de inseticidas químicos (Zortéa et al., 2015) e medicamentos veterinários utilizados para prevenção ou tratamento de doenças (HAHN et al., 2012; LEAL et al., 2012).

A realização da compostagem da cama de aves antes de sua aplicação no solo como fertilizante é uma forma de minimizar os impactos desse resíduo nos ecossistemas (HAHN et al., 2012). A compostagem é um tratamento biológico amplamente utilizado para a estabilização de nutrientes, inativação de agentes patogênicos (Wang et al., 2014), degradação de antibióticos e outros medicamentos veterinários (RAMASWAMY et al., 2010; ŽIŽEK et al., 2011; HAHN et al., 2012). Além disso, a estabilização dos resíduos orgânicos antes de sua aplicação no solo tem sido relatada como uma prática eficaz para a redução da toxicidade para organismos e plantas (Domene et al., 2007; Domene et al., 2008; Alvarenga et al., 2016; Roig

et al., 2012) e apresenta efeitos positivos mais prolongados sobre as propriedades do solo (ALVARENGA et al., 2017).

Apesar da compostagem, ser um método recomendado, muitas vezes, em condições de campo por questões práticas e econômicas esse tratamento não é realizado nas propriedades rurais e os resíduos acabam sendo aplicados diretamente no solo logo após a sua retirada dos galpões, o que pode contribuir para a contaminação dos recursos naturais.

A cama de aves é uma matriz orgânica complexa e ainda pouco estudada especialmente, no que se refere aos riscos potenciais para os invertebrados do solo. Conforme verificado, esse resíduo pode conter em sua composição vários compostos tóxicos, que podem afetar negativamente os organismos do solo e o provisionamento dos serviços ecossistêmicos essenciais para sustentabilidade dos sistemas de produção (ZORTÉA et al., 2015). Além disso, não se encontrou na literatura informações a respeito da influência do tratamento de compostagem da cama de aves antes, da sua aplicação no solo, no que se refere à toxicidade desse resíduo para os organismos edáficos.

O estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de doses de cama de aves compostada e não compostada, em dois solos representativos da região Sul do Brasil, sobre a sobrevivência e reprodução de colêmbolos da espécie *F. candida*. As hipóteses do estudo são que (I) o tratamento de compostagem da cama de aves antes de sua aplicação no solo altera a toxicidade do resíduo para os colêmbolos *F. candida* (a cama de aves compostada ocasionará menor toxicidade aos organismos e a cama de aves não compostada apresentará maior toxicidade); (II) os efeitos observados serão diferentes de acordo com o tipo de solo, devido às suas propriedades físico-químicas que podem alterar o destino e a biodisponibilidade dos poluentes presentes na cama de aves.

4.1.2 Material e Métodos

4.1.2.1 Solos

Foram utilizados dois solos do estado de Santa Catarina classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006), como Nitossolo Vermelho distroférrico (Nitossolo) e Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo). Os solos foram coletados em áreas de pastagem sem histórico de aplicação de cama de aves e outros tipos de dejetos animais, nos municípios de Concórdia ($27^{\circ}31'17.10''$ S e $51^{\circ}99'08.14''$ O) e Lages ($27^{\circ}76'56.07''$ S e $50^{\circ}28'53.65''$ O), respectivamente.

Os solos foram coletados na camada de 0,00-0,20 m de profundidade, secos em estufa a 55 °C, tamisados (2 mm) e desfaunados através de dois ciclos de congelamento e descongelamento (48 horas a -20 °C, seguido de 48 h a 25 °C por ciclo).

Os parâmetros físico-químicos destes solos são apresentados no Apêndice A. Os métodos de análise química do solo foram realizados de acordo com Tedesco et al. (1995). A granulometria dos solos foi determinada pelo método da pipeta (GEE e BAUDER, 1986).

Para a condução dos ensaios o pH do Cambissolo foi corrigido para 5,5 com adição de carbonato de cálcio (CaCO_3) (ISO, 2005) e a umidade de ambos os solos, ajustada para 60% da capacidade máxima de retenção de água (CMR) (ISO, 1993). O procedimento de ajuste da umidade do solo foi realizado com base nos valores CMR obtidos para cada mistura (solo + dose de cama de aves).

Para fins de controle e validação dos procedimentos experimentais foi utilizado um solo artificial tropical (SAT). Esse solo consiste em uma mistura de 70% de areia industrial (fina), 20% de argila caulinítica, e 10% de pó de fibra de coco (seca e peneirada) (GARCIA, 2004). Esse solo é uma adaptação do solo artificial OECD (OECD, 1984) e tem sido amplamente utilizado como referência para o controle e validação dos procedimentos experimentais em ensaios ecotoxicológicos de laboratório realizados em regiões tropicais (ALVES et al., 2015; SEGAT et al., 2015; ZORTÉA et al., 2015; MACCARI et al., 2016).

4.1.2.2 *Cama de aves*

A cama de aves testada foi proveniente de uma granja com produção comercial de frangos de corte (8 lotes) que utilizou maravalha (*Pinus elliottii*) como substrato absorvente das excretas das aves. Outras informações sobre a forma de escolha da granja onde foi coletada a cama podem ser obtidas no material e métodos geral Item 3.2. Os parâmetros físico-químicos da cama de aves compostada (C) e não compostada (NC) encontram-se apresentados no Apêndice B. A caracterização da cama de aves foi realizada de acordo com o método proposto por Tedesco et al. (1995). O percentual de carbono e nitrogênio total foram analisados por combustão total da amostra em analisador elementar (CHNS).

4.1.2.3 *Organismos e condições de cultura*

Os espécimes de *F. candida* utilizados nos ensaios foram obtidos de culturas em laboratório mantidas à temperatura de 20 ± 2 °C e fotoperíodo de 12:12 h (luz/escuro). Os

organismos foram cultivados em recipientes de plástico contendo uma mistura 11:1 de gesso e carvão ativado respectivamente e água. Os meios de cultivos foram mantidos úmidos e semanalmente os organismos alimentados com aproximadamente 2 mg de fermento biológico (*Saccharomyces cerevisiae*).

4.1.2.4 Tratamentos

Os tratamentos consistiram em doses de cama de aves C e NC adicionadas aos dois solos (Nitossolo e Cambissolo). A dose de 8 t ha⁻¹ foi determinada para representar uma dose agronômica semelhante a dose média recomendada de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFSRS/SC, 2016). Baseado nessa informação, doses maiores e menores foram estabelecidas para avaliar diversos cenários possíveis do uso da cama de aves como fertilizante orgânico. As doses foram calculadas com base na matéria seca (MS).

As doses testadas nos ensaios de toxicidade aguda (letalidade) foram: 0, 2, 4, 8, 16 e 24 t ha⁻¹ de cama de aves C e NC (primeiro ensaio). Não sendo observado efeito letal nesse ensaio, doses maiores foram estabelecidas e testadas sendo estas: 0, 40, 60, 80, 100, 130 e 160 t ha⁻¹ de cama de aves C e NC (segundo ensaio). A partir desses resultados novas doses foram estabelecidas (0, 2, 4, 8, 16, 32 e 64 t ha⁻¹ de cama de aves C e NC) e testadas para avaliar a toxicidade crônica (reprodução).

Para cada tratamento, a cama de aves foi inicialmente misturada com uma pequena quantidade do solo, em seguida esta porção foi misturada ao restante do solo, para garantir uma boa homogeneização da cama de aves com o solo.

Os ensaios foram conduzidos em delineamento experimental inteiramente casualizado, com cinco repetições, em ambiente com temperatura 20±2 °C e fotoperíodo 12:12 h (luz/escuro) controlados.

4.1.2.5 Ensaio de toxicidade aguda (Letalidade)

O ensaio com *F. candida* seguiu as recomendações da ISO 11267 (ISO, 1999). Em recipientes de plástico (diâmetro: 7 cm; altura: 6 cm) foram adicionados 30 g de cada tratamento testado (peso fresco). Cada unidade experimental recebeu 10 indivíduos com idade entre 10-12 dias de vida, obtidos a partir de culturas sincronizadas. Os colêmbolos foram

alimentados no início do teste com aproximadamente 2 mg de fermento biológico (*S. cerevisiae*). Após 14 dias foi feita a avaliação da letalidade de indivíduos.

4.1.2.6 Ensaio de toxicidade crônica (Reprodução)

O ensaio de reprodução com *F. candida* seguiu as recomendações da ISO 11267 (ISO, 1999), com duração de 28 dias. Em recipientes de plástico (diâmetro: 3,5 cm; altura: 11,5 cm) foram adicionados 30 g de cada tratamento testado (peso fresco). Cada unidade experimental recebeu 10 indivíduos com idade entre 10-12 dias de vida, obtidos a partir de culturas sincronizadas. Os colêmbolos foram alimentados no início do teste e aos 7, 14 e 21 dias com aproximadamente 2 mg de fermento biológico (*S. cerevisiae*) e os frascos abertos a cada dois dias para aeração. Ao final do teste, o conteúdo do frasco foi transferido para outro recipiente e adicionado água e quando necessário foram adicionadas algumas gotas de tinta preta para facilitar a contagem. Após agitar o conteúdo do recipiente, foram tiradas fotos digitais e o número de adultos e juvenis que apareceram na superfície foram contados utilizando o software UTHSCSA Image Tool 3.0 (UNIVERSITY OF TEXAS HEALTH SCIENCE CENTER, 2002).

4.1.2.7 Análises químicas

As concentrações de N-mineral no solo (amônio N-NH₄⁺ e nitrato N-NO₃⁻) foram determinadas logo após a adição das respectivas doses (0, 2, 4, 8, 16, 32 e 64 t ha⁻¹) de cama de aves C e NC. O N-mineral de cada amostra (solo + dose) foi extraído com solução de KCl 1,0 mol L⁻¹. Em seguida uma alíquota de 20 mL foi destilada em aparelho Kjeldahl, para obter as quantidades de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ utilizando 0,2 g de óxido de magnésio (MgO) e 0,2 g de liga de Devarda, respectivamente (TEDESCO et al., 1995).

Os teores totais de cobre (Cu) e zinco (Zn) nos solos após a adição da cama de aves foram determinados pelo método da USEPA 3050B, da agencia de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA, 1998), e obtidos em espectrometria de emissão óptica com plasma, ICP OES (OPTIMA 8300). A análise foi feita em triplicata.

4.1.2.8 Análise Estatística

Os dados de letalidade e reprodução foram submetidos à análise de variância

(ANOVA *One-way*), seguido pelo teste Dunnett ($p \leq 0,05$), utilizando *software* Statistica 7.0 (STATSOFT, 2004). Antes da análise de variância, a normalidade e homogeneidade dos dados foram avaliadas utilizando os testes de Kolmogorov-Smirnov e Hartley, Cochran e Bartlett, respectivamente. Valores de concentração efetiva a 50% (CE_{50}) foram estimados utilizando regressão não linear com modelo Logístico para os dados do Nitossolo e Hormese para os dados do Cambissolo (Environment Canada, 2005), utilizando o *software* Statistica 7.0 (STATSOFT, 2004). Para verificar se o tratamento de compostagem alterou a toxicidade da cama de aves, foi realizado o teste de significância de Behrens-Fisher ($p \leq 0,05$) (*generalized likelihood ratio test*) conforme sugerido por Natal-da-Luz et al. (2011), onde foi comparado os valores de CE_{50} obtidos para a cama de aves C e NC dentro de cada solo.

4.1.3 Resultados

Ambos os ensaios cumpriram os critérios de validação de acordo com a respectiva norma ISO 11267 (ISO, 1999). No ensaio de letalidade a sobrevivência dos colêmbolos adultos foi superior a 80% do total de indivíduos no controle (0 t ha^{-1}). No ensaio de reprodução, a sobrevivência de adultos foi ≥ 80 , o número de juvenis no controle foi maior que 100 por recipiente e o coeficiente de variação dos testes foi $\leq 30\%$.

A aplicação de elevadas doses de cama de aves C e NC no Nitossolo e Cambissolo não afetou negativamente a taxa de sobrevivência dos colêmbolos *F. candida* (Tabela 4.1.1). Em todos os tratamentos a sobrevivência dos organismos foi superior a 80%. Os valores de CL_{50} para cama de aves C e NC no Nitossolo e Cambissolo não foram possíveis de serem calculados uma vez que foram superiores a maior dose avaliada ($CL_{50} > 160 \text{ t ha}^{-1}$).

Tabela 4.1. 1 - Média (\bar{X}) ± desvio padrão (DP) de indivíduos vivos de *Folsomia candida* em Nitossolo Vermelho distroférrico (Nitossolo) e Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo) contaminado com doses crescentes de cama de aves compostada (C) e não compostada (NC) ($t\ ha^{-1}$). Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Dunnett ($n=5$).

	Nitossolo		Cambissolo	
	C	NC	C	NC
0	9,50 ± 1,00	9,75 ± 0,50	10,0 ± 0,00	9,75 ± 0,50
2	9,00 ± 1,41 ^{ns}	9,25 ± 0,95 ^{ns}	9,50 ± 1,00 ^{ns}	9,50 ± 0,58 ^{ns}
4	9,25 ± 0,96 ^{ns}	10,0 ± 0,00 ^{ns}	10,0 ± 0,00 ^{ns}	9,75 ± 0,50 ^{ns}
8	9,25 ± 1,50 ^{ns}	9,25 ± 0,95 ^{ns}	8,50 ± 1,30 ^{ns}	9,50 ± 0,58 ^{ns}
16	9,75 ± 0,50 ^{ns}	8,75 ± 1,89 ^{ns}	8,75 ± 1,50 ^{ns}	9,50 ± 0,58 ^{ns}
24	8,50 ± 0,58 ^{ns}	9,25 ± 0,95 ^{ns}	9,25 ± 0,95 ^{ns}	9,50 ± 0,58 ^{ns}
0	9,60 ± 0,57	9,60 ± 0,57	10,0 ± 0,00	10,0 ± 0,00
40	8,60 ± 0,57 ^{ns}	8,60 ± 1,52 ^{ns}	9,60 ± 1,00 ^{ns}	9,60 ± 0,00 ^{ns}
60	10,0 ± 0,00 ^{ns}	9,00 ± 1,00 ^{ns}	9,30 ± 1,00 ^{ns}	10,0 ± 0,00 ^{ns}
80	9,30 ± 1,50 ^{ns}	9,00 ± 1,00 ^{ns}	9,30 ± 1,00 ^{ns}	10,0 ± 0,00 ^{ns}
100	9,60 ± 0,57 ^{ns}	9,33 ± 1,15 ^{ns}	10,0 ± 0,00 ^{ns}	9,60 ± 1,00 ^{ns}
130	9,60 ± 0,57 ^{ns}	9,00 ± 1,00 ^{ns}	9,30 ± 1,00 ^{ns}	9,00 ± 1,00 ^{ns}
160	8,30 ± 1,19 ^{ns}	9,60 ± 0,57 ^{ns}	9,60 ± 1,00 ^{ns}	9,30 ± 1,00 ^{ns}

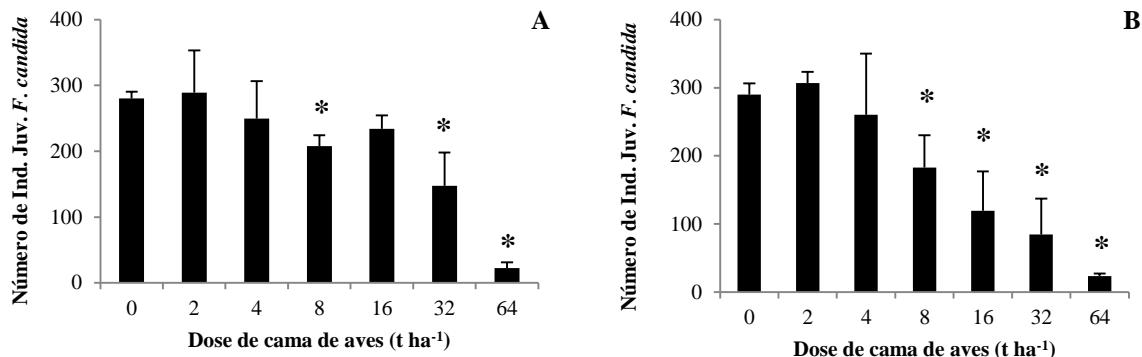
Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Os resultados obtidos nos ensaios de reprodução mostram que, a aplicação de cama de aves C e NC no Nitossolo e Cambissolo afetou negativamente o potencial reprodutivo dos colêmbolos, sendo a magnitude desse efeito dependente do solo testado.

No Nitossolo, a reprodução dos indivíduos foi significativamente afetada ($p \leq 0,05$) a partir da aplicação de $8\ t\ ha^{-1}$, independente da cama de aves estar ou não compostada (Figuras 4.1.1A e 4.1.1B). Os resultados obtidos mostram um efeito claro da relação dose-resposta, especialmente para a cama de aves NC (Figura 4.1.1B).

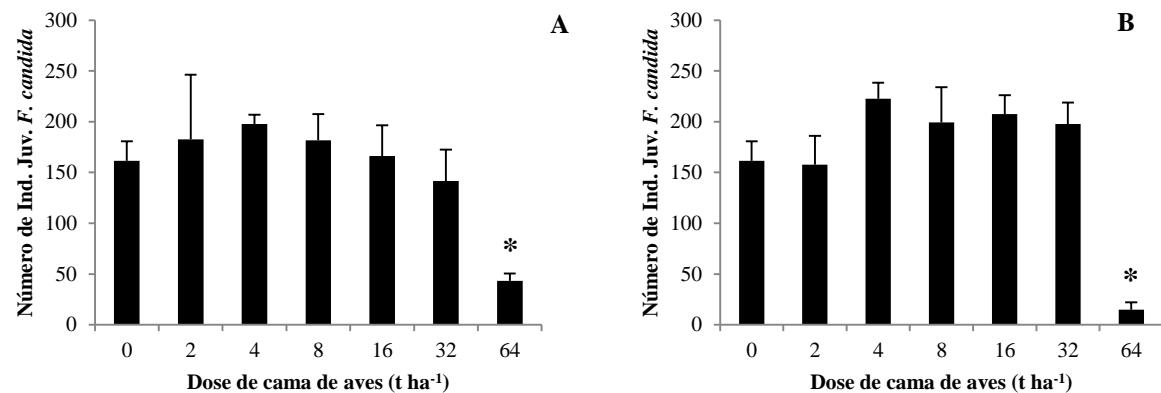
No Cambissolo a reprodução dos colêmbolos foi afetada nos dois tratamentos (cama de aves C e NC) apenas na maior dose testada $64\ t\ ha^{-1}$ de cama de aves (Figuras 4.1.2A e 4.1.2B). Nas doses mais baixas é possível verificar que adição da cama de aves no solo promoveu um aumento no número de juvenis de *F. candida* gerados em relação aos controles (Efeito Hormese) (Figuras 4.1.2A e 4.1.2B).

Figura 4.1. 1 - Número médio de indivíduos (Ind.) juvenis (Juv.) (+DP) de *Folsomia candida* em Nitossolo Vermelho distroférico contaminado com doses crescentes de cama de aves compostada (A) e não compostada (B). * Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Dunnett ($n=5$).



Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Figura 4.1. 2 - Número médio de indivíduos (Ind.) juvenis (Juv.) (+DP) de *Folsomia candida* em Cambissolo Húmico alumínico contaminado com doses crescentes de cama de aves compostada (A) e não compostada (B). * Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Dunnett ($n=5$).



Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Em geral, os dados de toxicidade (CE_{50}) obtidos mostram que a cama de aves NC aplicada no Nitossolo foi o tratamento que ocasionou maior toxicidade para os colêmbolos (CE_{50} de $12,41 \text{ t ha}^{-1}$).

Quando avaliada a toxicidade da cama de aves C e NC dentro de cada solo, é possível verificar que no Nitossolo, a cama de aves C ocasionou menor toxicidade para os colêmbolos (CE_{50} de $33,64 \text{ t ha}^{-1}$) quando comparada a cama de aves NC (CE_{50} de $12,41 \text{ t ha}^{-1}$). No Cambissolo, não foram verificadas diferenças de toxicidade entre as camas de aves C e NC, e os valores de CE_{50} obtidos foram muito semelhantes entre si (CE_{50} de $46,15$ e $44,63 \text{ t ha}^{-1}$ para a cama de aves C e NC, respectivamente) (Tabela 4.1.2).

Tabela 4.1. 2 - Valores de concentração efetiva CE_{50} ($t\ ha^{-1}$) calculados para os ensaios de reprodução com *Folsomia candida* em Nitossolo Vermelho distroférreo (Nitossolo) e Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo) contaminado com doses de cama de aves compostada (C) e não compostada (NC).

	C	NC
Nitossolo	33,64 (26,31 – 40,96)	12,41 (7,554 – 17,26)
Cambissolo	46,15 (36,74 – 55,56)	44,63 (37,29 – 51,97)

Em destaque o tratamento que apresentou maior toxicidade. Diferenças de toxicidade entre a cama compostada e não compostada avaliada dentro de cada solo pelo teste de significância de Behrens-Fisher ($p \leq 0,05$) (Natal-da-Luz et al., 2011).

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Os teores de NH_4^+ e NO_3^- quantificados para cada solo encontram-se apresentados na Tabela 4.1.3.

Tabela 4.1. 3 - Teores de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) (mg Kg^{-1}) quantificados para cada dose de cama de aves compostada (C) e não compostada (NC) após a adição no Nitossolo Vermelho distroférreo (Nitossolo) e Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo).

Doses $t\ ha^{-1}$	Nitossolo				Cambissolo			
	C		NC		C		NC	
	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-
0	35,87	3,72	35,87	3,72	34,3	22,9	34,3	22,9
2	44,1	2,16	51,55	6,08	25,28	15,87	33,91	6,1
4	48,02	6,08	52,33	7,64	49,59	14,7	37,83	15,9
8	54,29	7,25	57,82	6,47	58,21	13,5	39,00	15,1
16	60,17	9,6	93,49	7,25	72,32	37,4	73,11	4,9
32	83,3	17,44	131,91	3,72	87,22	24,1	99,76	6,9
64	153,86	48,8	183,26	4,12	129,16	42,5	164,05	15,1

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

As concentrações totais de metais Cu e Zn encontradas para ambos os solos se encontram apresentadas na Tabela 4.1.4.

Tabela 4.1. 4 - Valores médios (\bar{X}) \pm desvio padrão (DP) de cobre (Cu) e zinco (Zn) quantificados (mg kg^{-1}) para cada dose de cama de aves compostada (C) e não compostada (NC) aplicadas no Nitossolo Vermelho distroférreo (Nitossolo) e Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo).

Nitossolo		C		NC	
Doses t ha^{-1}	Cu	Zn	Cu	Zn	
0	159,62 \pm 6,67	92,34 \pm 8,40	159,62 \pm 6,67	92,34 \pm 8,40	
2	169,13 \pm 11,40	92,54 \pm 5,50	161,61 \pm 7,42	79,79 \pm 6,62	
4	164,63 \pm 4,61	85,58 \pm 2,21	152,89 \pm 8,97	80,42 \pm 6,64	
8	160,52 \pm 6,60	83,50 \pm 4,98	147,60 \pm 8,52	79,84 \pm 4,39	
16	159,74 \pm 2,12	86,04 \pm 0,90	140,91 \pm 1,85	76,06 \pm 1,38	
32	176,00 \pm 7,46	91,83 \pm 9,09	135,21 \pm 3,33	68,78 \pm 4,12	
64	184,89 \pm 5,03	101,62 \pm 1,70	142,07 \pm 4,87	75,75 \pm 4,69	
Cambissolo		C		NC	
Doses t ha^{-1}	Cu	Zn	Cu	Zn	
0	12,36 \pm 0,30	15,16 \pm 2,29	12,36 \pm 0,30	15,16 \pm 2,29	
2	11,10 \pm 0,77	16,00 \pm 2,47	11,04 \pm 0,36	17,02 \pm 0,81	
4	11,83 \pm 0,36	16,97 \pm 2,11	9,53 \pm 0,19	14,14 \pm 1,32	
8	11,98 \pm 0,13	16,95 \pm 2,15	11,86 \pm 0,44	15,78 \pm 2,23	
16	14,33 \pm 0,24	19,70 \pm 2,79	13,11 \pm 0,18	17,76 \pm 1,39	
32	18,24 \pm 0,17	21,93 \pm 1,78	18,28 \pm 0,18	19,19 \pm 2,41	
64	26,67 \pm 0,78	27,71 \pm 2,90	28,08 \pm 0,77	26,67 \pm 5,21	

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

4.1.4 Discussão

A aplicação de cama de cama de aves C e NC no Nitossolo e Cambissolo não afetou negativamente a sobrevivência dos colêmbolos *F. candida* (Tabela 4.1.1), entretanto, reduziu significativamente o potencial reprodutivo dessa espécie (Figuras 4.1.1AB e 4.1.2AB). Esses resultados mostram que os efeitos negativos da cama de aves sobre os colêmbolos não são imediatos, mas ocorrem ao longo do tempo e variam com o tipo de solo e dose aplicada.

A primeira hipótese que supunha que o tratamento de compostagem da cama de aves iria alterar a toxicidade do resíduo para os colêmbolos *F. candida* foi confirmada apenas para o Nitossolo. Nesse solo, a cama de aves C apresentou menor toxicidade para os colêmbolos quando comparada a cama de aves NC e isso foi comprovado pelas diferenças significativas entre os valores de CE_{50} estimados (CE_{50} de 33,64 e 12,41 t ha^{-1} para a cama de aves C e NC, respectivamente) (Tabela 4.1.2).

A menor toxicidade derivada da cama de aves C era esperada, uma vez que esse resíduo foi submetido ao processo de compostagem antes de sua aplicação no solo. Resultados similares foram reportados por Domene et al. (2007); Roig et al. (2012); Alvarenga et al. (2016) que também encontraram menor toxicidade nos resíduos orgânicos que passaram por algum processo de tratamento e/ou estabilização.

As respostas tóxicas mais elevadas observadas para a cama de aves NC podem ser derivadas do menor grau de estabilização e da presença de frações orgânicas mais lábeis nesse resíduo, resultando na liberação de compostos tóxicos aos colêmbolos, tais como, o NH_4^+ (Tabela 4.1.3). Esses fatores já foram relatados por Domene et al. (2008) quanto mais estabilizado um resíduo, menor é a quantidade de amônio (NH_4^+) e menor é a sua toxicidade.

Além disso, a ausência de compostagem da cama antes de sua aplicação no solo pode ter favorecido à presença de patógenos *E. coli* e *Salmonella* sp. que podem ter contribuído para a maior toxicidade observada. Em um estudo recente com resíduos orgânicos Renaud et al. (2017), relatam que, a presença desses patógenos pode afetar a reprodução dos organismos. Os autores reportam que, apesar de não existirem evidências que mostrem que *E. coli* e *Salmonella* sp. apresentam impactos negativos diretos sobre os invertebrados do solo, a alta atividade microbiana pode gerar condições anóxicas dentro dos recipientes influenciando na reprodução e sobrevivência dos organismos edáficos.

No presente estudo, esses parâmetros sanitários não foram medidos e seriam fundamentais para uma interpretação mais rigorosa dos resultados obtidos. Assim, recomenda-se que em estudos futuros para avaliar os riscos potenciais de dejetos animais, além das análises químicas também se considerem a realização de análises de parâmetros sanitários, pois podem contribuir para compressão dos efeitos desses resíduos sobre invertebrados do solo.

A segunda hipótese, de que os efeitos observados seriam distintos de acordo com o tipo de solo estudado foi confirmada, indicando que os solos apresentam diferentes capacidades de suporte para disposição da cama de aves. Os resultados apontam a necessidade de elaboração de normativas que regulamentarizem a aplicação desses dejetos dando particular atenção aos níveis máximos permitidos de acordo com o tipo de solo como forma de garantir a manutenção da qualidade do solo.

No Nitossolo, a aplicação de 8 t ha^{-1} de cama de aves C e NC ocasionou uma redução significativa no número de juvenis gerados (Figura 4.1.1AB). Por outro lado, no Cambissolo a reprodução dos colêmbolos foi negativamente afetada pela aplicação de uma dose elevada de cama de aves (64 t ha^{-1}) (Figura 4.1.2AB).

Esses resultados podem ser explicados especialmente pelas diferenças nos valores de CTC dos dois solos (Apêndice A) que podem ter resultado em diferentes capacidades de retenção dos metais Cu e Zn adicionados via cama de aves. As concentrações totais de Cu e Zn encontradas no Nitossolo foram superiores às encontradas para o Cambissolo (Tabela 4.1.4). Domene et al. (2011) e Maccari et al. (2016) relatam que as propriedades do solo podem influenciar na biodisponibilidade e toxicidade dos contaminantes para os organismos edáficos.

Os efeitos negativos do Cu e Zn sobre a população de colêmbolos já tem sido bem discutido na literatura e foi apontado como uma das causas de toxicidade para *F. candida* em estudos com outros tipos de dejetos animais (MACCARI et al., 2016). As concentrações totais de Cu e Zn nas doses de cama de aves com efeito significativo para *F. candida* se diferem dos valores reportados na literatura e por Maccari et al. (2016) em estudo com dejetos de suínos. Essa variação encontrada pode estar relacionada às diferenças nas propriedades físico-químicas dos solos estudados, especialmente a textura dos solos e também as formas de Cu e Zn utilizadas nas dietas dos animais (por ex. sulfato de Zn, óxido de Zn, entre outras).

Além disso, em estudos com resíduos orgânicos os efeitos tóxicos dos metais pesados para os organismos edáficos podem ser derivados da existência de efeitos aditivos, resultantes da combinação e interação entre esses metais. Os metais presentes na forma combinada (misturas) podem apresentar efeitos sinérgicos ou antagônicos que podem alterar a toxicidade (RENAUD et al., 2017).

A toxicidade da cama de aves para os colêmbolos em ambos os solos, também pode ser derivada da alta concentração de nitrogênio (N) no solo, promovidas pela adição da cama de aves e aos efeitos nocivos de alguns compostos tóxicos derivados do N-lábil, tais como, NH_4^+ e NO_3^- (Tabela 4.1.3).

A cama de aves é um resíduo com alto teor de N (Markou, 2015; Delgado et al., 2012), predominantemente na forma orgânica (ROGERI et al., 2016). No presente estudo, a baixa relação C/N da cama de aves (13,09 e 15,58 para cama de aves C e NC) (Apêndice B) pode ter contribuído para a rápida mineralização do N orgânico, resultando em altos teores de NH_4^+ no solo (Tabela 4.1.3). A relação C/N do resíduo é um dos principais fatores que determinam a dinâmica do N no solo, sendo que, relações C/N baixas, menores que 25 resultam na liberação imediata de N para o solo, sem imobilização pelos microrganismos (ROGERI et al., 2016).

Estudos encontrados na literatura apontam os teores de N total e NH_4^+ como uma das principais causas da toxicidade dos resíduos orgânicos para colêmbolos *F. candida*. Domene

et al. (2007) avaliando a toxicidade de diferentes tipos de resíduos orgânicos para colêmbolos da espécie *F. candida*, atribuíram os resultados de letalidade encontrados, a baixa estabilidade dos resíduos e a toxicidade do NH_4^+ . Menor desempenho reprodutivo de colêmbolos em um estudo com solos naturais também foi relacionado às maiores concentrações de N total no solo (DOMENE et al., 2011). Em um estudo recente, Maccari et al. (2016) avaliando os efeitos de dejetos de suínos sobre *F. candida* também associaram a toxicidade ao aumento no teor total de N no solo e aos efeitos nocivos de compostos derivados do N (lábil) liberados durante o experimento. As maiores concentrações de NH_4^+ encontradas nas doses de efeito significativo para a cama de aves NC no Nitossolo (Tabela 4.1.3), podem ser a principal explicação para a maior toxicidade desse tratamento em relação aos demais (Tabela 4.1.2).

O valor de CE_{50} encontrado no Nitossolo com adição de cama de aves NC (CE_{50} de 12,41 t ha^{-1} com intervalo de confiança de 7,554 - 17,26) foi semelhante à dose de cama de aves usualmente utilizada em nível de campo pelos agricultores da região Oeste do estado de Santa Catarina (8 t ha^{-1}), determinada conforme as recomendações agronômicas (CQFS, RS/SC, 2016). Apesar do tratamento de compostagem da cama de aves, antes de sua disposição no solo, como fertilizante, ser um manejo recomendado pelas empresas integradoras (Hanh et al., 2012), em situações práticas, muitas vezes isso não ocorre. Os resultados mostram que a realização dessa prática simples e econômica na propriedade pode contribuir para reduzir o risco desse resíduo para invertebrados do solo contribuindo assim para a manutenção da biodiversidade do solo.

Contudo, é importante destacar que além dos metais e nitrogênio, a cama de aves pode conter na sua composição, outros contaminantes, como por exemplo, resíduos de inseticidas químicos (Zortéa et al., 2015) e medicamentos veterinários (Hanh et al., 2012; Leal et al., 2012), que não foram medidos e avaliados nesse estudo e que podem contribuir para a toxicidade da cama de aves para os colêmbolos e outros organismos edáficos.

4.1.5 Conclusões

A aplicação de cama de aves compostada e não compostada no Nitossolo e Cambissolo afetou negativamente o potencial reprodutivo de colêmbolos da espécie *F. candida*, sendo esse parâmetro mais sensível que a sobrevivência a qual não foi afetada.

O tratamento de compostagem da cama de aves reduziu a toxicidade do resíduo para os colêmbolos no Nitossolo. No Cambissolo não foram encontradas diferenças de toxicidade entre a cama de aves C e NC.

Quando analisado individualmente, o Nitossolo apresentou maior toxicidade derivada da aplicação de cama de aves que o Cambissolo. A toxicidade da cama de aves para os colêmbolos em ambos os solos, foi atribuída ao excesso de nitrogênio e amônio no solo e a presença dos metais Cu e Zn.

Recomenda-se a realização da compostagem da cama de aves nas propriedades rurais para reduzir o risco desse resíduo para invertebrados do solo contribuindo assim para a manutenção da qualidade e biodiversidade do solo.

REFERÊNCIAS

AGYARKO-MINTAH, E. et al. Biochar lowers ammonia emission and improves nitrogen retention in poultry litter composting. **Waste Management**, Elmsford, v. 61, p. 129-137, 2017.

ALVARENGA, P. et al. Ecotoxicological assessment of the potential impact on soil porewater, surface and groundwater from the use of organic wastes as soil amendments. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 126, p. 102-110, 2016.

ALVARENGA, P. et al. Recycling organic wastes to agricultural land as a way to improve its quality: A field study to evaluate benefits and risks. **Waste Management**, Elmsford , v. 61, p. 582-592, 2017.

ALVES, P.R.L. et al. Ecotoxicological characterization of sugarcane vinasses when applied to tropical soils. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 526, p. 222-232, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório anual 2017**. Disponível em: < <http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/publicacoes/relatorios-anuais> > Acesso em: 27 set. 2017.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2016. 376p.

DALÓLIO, F. S. et al. Poultry litter as biomass energy: A review and future perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdã, v. 76, n. 11, p. 941-949, 2017.

DELGADO, M. et al. Environmental assay on the effect of poultry manure application on soil organisms in agroecosystems. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 416, p. 532-535, 2012.

DOMENE, X; ALCAÑIZ, J. M; ANDRÉS, P. Ecotoxicological of organic wastes using the soil collembolan *Folsomia candida*. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 35, n.3, p. 461-472, 2007.

DOMENE, X. et al. Influence of soil properties on the performance of *Folsomia candida*: implications for its use in soil ecotoxicology testing. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v. 30, n.7, p. 1497-1505, 2011.

DOMENE, X. et al. Ecological risk assessment of organic waste amendments using the species sensitivity distribution from a soil organisms test battery. **Environmental Pollution**, London, v. 155, p. 227-236, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

ENVIRONMENT CANADA. **Guidance document: Statistical methods for environmental toxicity tests**. Environmental Protection Series, EPS1/RM/46. Ottawa, ON, 2005.

GARCIA, M. V. **Effects of pesticides on soil fauna: Development of ecotoxicological test methods for tropical regions**. 2004. 281p. (Thesis research work). University of Bonn. Germany.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: Part 1 - Physical and mineralogical methods**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986, p. 383-411.

HAHN, L. et al. Persistência de patógenos e do antibiótico salinomicina em pilhas de compostagem de cama de aviário. **Archivos de Zootecnia**, Cordoba, v. 61, n. 234, p. 279-285, 2012.

HUANG, Y. et al. Biochar and renewable energy generation from poultry litter waste: A technical and economic analysis based on computational simulations. **Applied Energy**, London, v. 160, n.15, 656–663, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO 10390**. Soil quality - Determination of pH. Geneva, 1998. Geneva, 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11267**: Soil quality - Inhibition of reproduction of *Collembola* (*Folsomia candida*) by soil pollutants. Geneva, 1999.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO 11465**. Soil quality - Determination of dry matter and water content on a mass basis - gravimetric method, Geneva, 1993.

LEAL, R. M. P. et al. Occurrence and sorption of fluoroquinolones in poultry litters and soils from São Paulo State, Brazil. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 432 p. 344-349, 2012.

MACCARI, A. P. et al. Ecotoxicological effects of pig manure on *Folsomia candida* in subtropical Brazilian soils. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 314, p. 113-120, 2016.

MARKOU, G. Improved anaerobic digestion performance and biogas production from poultry litter after lowering its nitrogen content. **Bioresource Technology**, Essex, v. 196, p. 726-730, 2015.

NATAL-DA-LUZ, T. et al. Toxicity to *Eisenia andrei* and *Folsomia candida* of a metal mixture applied to soil directly or via an organic matrix. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 74, p. 1715-1720, 2011.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **OECD 207**. Guideline for Testing of Chemicals: Earthworm Acute Toxicity Test. Paris, 1984.

OVIEDO-RONDÓN, E. O. Tecnologias para mitigar o impacto ambiental da produção de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. esp., p. 239-252, jul., 2008.

RAMASWAMY, J. et al. The effect of composting on the degradation of a veterinary pharmaceutical. **Bioresource Technology**, Essex, v. 101, p. 2294-2299, 2010.

RENAUD, M. et al. Organic wastes as soil amendments – Effects assessment towards soil invertebrates. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 330, p. 149-156, 2017.

ROGERI, D. A. et al. Composition of poultry litter in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 40, p. 1-7, 2016.

ROIG, N. et al. Relationship between pollutant content and ecotoxicity of sewage sludges from Spanish wastewater treatment plants. **Science of the Total Environmental**, Amsterdam, v, 425, p. 99-109, 2012.

SEGAT, J. C. et al. Ecotoxicological evaluation of swine manure disposal on tropical soils in Brazil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 122, p. 91-97, 2015.

STATISTIC. StatSoft, Inc. (2004). **STATISTICA (data analysis software system)**, version 7. Disponível em: <www.statsoft.com>. Acesso em: 16 ago. 2017.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Background report on fertilizer use, contaminants and regulations**. Protec Agency/Office of Pollution Prevention and Toxics. EPA, 747-R98-003, United States Environmental, p. 365, 1998.

UNIVERSITY OF TEXAS HEALTH SCIENCE CENTER. UTHSCSA **ImageTool 3.0**. San Antonio, 2002.

WANG, K. et al. Transformation of dissolved organic matters in swine, cow and chicken manures during composting. **Bioresource Technology**, Essex, v. 168, p. 222-228, 2014.

ŽIŽEK, S. et al. Does monensin in chicken manure from poultry farms pose a threat to soil invertebrates? **Chemosphere**, Oxford, v. 83, n.4, p. 517-523, 2011.

ZORTÉA, T. et al. Influence of cypermethrin on avoidance behavior, survival and reproduction of *Folsomia candida* in soil. **Chemosphere**, Oxford, v. 122, p. 94-98, 2015.

4.2 CAPÍTULO II - EFEITOS DA CAMA DE AVES SOBRE A SOBREVIVÊNCIA E REPRODUÇÃO DE ÁCAROS *Hypoaspis aculeifer*

RESUMO

A aplicação da cama de aves como fertilizante orgânico em áreas agrícolas é uma das principais alternativas de descarte desse resíduo. Entretanto, os riscos potenciais desse dejeto para os invertebrados do solo ainda são pouco estudados. O estudo teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de doses de cama de aves compostada (C) e não compostada (NC) sobre a sobrevivência e reprodução de ácaros da espécie *Hypoaspis aculeifer*. A cama de aves foi testada em dois solos naturais classificados como Nitossolo Vermelho distroférreo e Cambissolo Húmico alumínico representativos, em termos de uso da cama como fertilizante orgânico. Os tratamentos consistiram em doses de cama de aves C e NC (0, 4, 8, 16, 32, 64 e 128 t ha⁻¹) aplicadas aos dois solos (Nitossolo e Cambissolo). As doses foram estabelecidas com base na recomendação agronômica para o seu uso como fertilizante em solos agrícolas. A cama de aves não apresentou toxicidade para os ácaros da espécie *H. aculeifer*. Nenhum efeito letal e/ou subletal foi observado após a exposição durante 14 dias a doses de cama de aves C e NC, mesmo com a aplicação de 128 t ha⁻¹. De modo geral, não foram encontradas diferenças de toxicidade entre as camas de aves (C e NC) e entre os solos (Nitossolo e Cambissolo). A sobrevivência das fêmeas adultas foi superior a 80% e o número de juvenis gerados foi maior que 180 indivíduos em todos os tratamentos avaliados. Esses resultados oferecem informações inéditas sobre a tolerância da espécie *H. aculeifer* em testes ecotoxicológicos com uma matriz orgânica complexa (cama de aves) em dois solos naturais subtropicais.

Palavras-chaves: Compostagem. Dejeto animal. Ecotoxicologia terrestre. Microartrópode.

ABSTRACT

The application of poultry litter as organic fertilizer in agricultural areas is one of the main alternatives of disposal of this residue. However, the potential risks of this waste to soil invertebrates are little studied. The aim of this study was to evaluate the effect of composted (C) and non composted poultry litter (NC) on the survival and reproduction of mites of the species *Hypoaspis aculeifer*. The poultry litter was tested in two natural soils classified as Nitosol and Cambisol, representative in terms of waste use as organic fertilizer. The treatments consisted of poultry litter C and NC (0, 4, 8, 16, 32, 64 and 128 t ha⁻¹) applied to both soils (Nitossolo and Cambissolo). The doses were established based on the agronomic recommendation for their use as fertilizer in agricultural soils. The poultry litter showed no toxicity for *H. aculeifer* mites. No lethal and/or sublethal effects were observed after exposure for 14 days to C and NC poultry litter, even with the application of 128 t ha⁻¹. In general, no toxicity differences were found between poultry litter (C and NC) and between soils (Nitossolo and Cambissolo). The survival of adult females was higher than 80% and the number of juveniles generated was greater than 180 individuals in all evaluated treatments. These results provide information unpublished untold on the tolerance of the species *H. aculeifer* in ecotoxicological tests with a complex organic matrix (poultry litter) on two subtropical natural soils.

Key-words: Composting. Organic waste. Terrestrial ecotoxicology. Microarthropod.

4.2.1 Introdução

A produção brasileira de frangos de corte cresceu significativamente na última década e o Brasil se tornou um dos principais países produtores e exportadores de carne de frango do mundo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL - ABPA, 2017). A maior parte da produção de aves do Brasil está concentrada na região Sul do país (ABPA, 2017). Nessa região, a avicultura é uma atividade desenvolvida em pequenas propriedades rurais (Rogeri et al., 2015) em sistemas intensivos o que gera grandes quantidades de resíduos em pequenas áreas territoriais (HAHN et al., 2012).

A cama de aves é um dos principais resíduos gerado pela avicultura (Perondi et al., 2017) e é composta pela mistura do material utilizado como substrato para cama (aparas de madeira, serragem, palhas, entre outros), com as excretas das aves, penas, descamações da pele, restos de alimento e água (HUANG et al., 2015; TEMPLE et al., 2014). Esse resíduo é rico em carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e outros elementos (Markou, 2015), e o uso como fertilizante orgânico é uma das principais alternativas utilizadas pelos agricultores para a reciclagem desses dejetos nas propriedades rurais.

Embora a cama de aves apresente grande potencial para disponibilizar nutrientes às plantas e melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, o seu descarte em solos agrícolas tem gerado uma série de preocupações (BOLAN et al., 2010). A cama de aves apresenta em sua composição além de nutrientes outros compostos como, metais pesados (Cu, Zn), medicamentos veterinários (Bolan et al., 2010) e resíduos de pesticidas, por exemplo, compostos a base de cipermetrina utilizados para controle de cascudinhos (*Alphitobius diaperinus*) na cama de aves que podem ser disseminados para o solo e ocasionar efeitos adversos para os organismos edáficos (ZORTÉA et al., 2015).

Em regiões com produção intensiva de aves, como é o caso do Sul do Brasil, o volume de dejetos produzidos é muito maior do que às áreas agrícolas disponíveis para sua aplicação segura como fertilizante, e assim, a cama de aves acaba sendo aplicada continuamente nas mesmas áreas sem critérios técnicos, sem a avaliação das necessidades do solo e das culturas e tão pouco a composição química do resíduo.

Além disso, em condições de campo, por questões práticas e/ou econômicas, muitas vezes esse resíduo é aplicado *in natura* no solo sem passar por nenhum tratamento de estabilização (compostagem) o que aumenta o risco de contaminação do solo. Diversos

estudos na literatura mostram que a compostagem reduz significativamente a concentração de antibióticos e outros produtos veterinários (Ramaswamy et al., 2010; Žižek et al., 2011; Ho et al., 2013) e inativa microrganismos patogênicos na cama de aves (Hahn et al., 2012), tornando a aplicação dos dejetos mais segura após a compostagem. No entanto, é importante destacar que, elementos como, os metais pesados não são degradáveis durante o processo de compostagem podendo persistir nos dejetos e serem disseminados para o solo ocasionando efeitos negativos para os organismos edáficos.

O solo é o principal meio receptor desse resíduo, no entanto, os efeitos da aplicação da cama de aves para invertebrados do solo ainda não são conhecidos. Além disso, não se tem informações a respeito da influência do tratamento de compostagem da cama de aves antes de sua aplicação no solo no que se refere à toxicidade desse resíduo para a fauna do solo. Conhecer esses efeitos e estabelecer doses de cama de aves apropriadas para cada tipo de solo que não ocasionem efeitos negativos para os organismos edáficos é fundamental para a gestão sustentável desses resíduos.

A espécie *H. aculeifer* selecionada como indicadora possui protocolo padronizado para a realização de ensaios ecotoxicológicos (OECD 226, 2008), apresenta uma distribuição global, fácil manuseio e é predadora representando um nível trófico superior a outros invertebrados do solo (minhocas, colêmbolos e enquitreídeos) (Owojori et al., 2014), os quais são amplamente utilizados em ensaios ecotoxicológicos no Brasil.

O estudo teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de doses crescentes de cama de aves compostada e não compostada em dois solos naturais subtropicais sobre a sobrevivência e reprodução de ácaros da espécie *Hypoaspis aculeifer*.

4.2.2 Material e métodos

4.2.2.1 Solos

Para o estudo foram utilizadas amostras da camada superficial (0,00-0,20 m de profundidade) de dois solos naturais classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como Nitossolo Vermelho distroférrico (Nitossolo) e Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo) (EMBRAPA, 2006). As características físicas e químicas de cada solo estão apresentadas no Apêndice A. Mais detalhes sobre cada solo e procedimentos realizados podem ser obtidos no Capítulo I, Item 4.1.2.1.

Um solo artificial tropical (SAT) foi utilizado como referência para o controle e validação dos procedimentos experimentais. Esse solo é uma adaptação do solo artificial OECD (OECD, 1984) e consiste em uma mistura de 70% de areia industrial (fina), 20% de argila caulinítica e 10% de pó de fibra de coco (seca e peneirada) (GARCIA, 2004). O pH do SAT foi ajustado para $6 \pm 0,5$ com adição de CaCO_3 .

4.2.2.2 *Cama de aves*

A cama de aves utilizada para os testes foi proveniente de uma granja com produção comercial de frangos de corte localizada na região Sul do Brasil. Outras informações sobre a cama de aves podem ser obtidas no material e métodos geral Item 3.2. Parâmetros físico-químicos da cama de aves compostada (C) e não compostada (NC) encontram-se apresentados no Apêndice B.

4.2.2.3 *Procedimentos experimentais*

O Nitossolo e o Cambissolo foram contaminados em laboratório com doses (0, 4, 8, 16, 32, 64 e 128 t ha^{-1}) de cama de aves C e NC. As doses testadas foram estabelecidas com base no Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFSRS/SC, 2016). A dose de 8 t ha^{-1} foi determinada para representar uma dose agronômica semelhante a utilizada em nível de campo pelos agricultores na região Sul do Brasil. Baseado nessa dose, doses maiores e menores foram estabelecidas para avaliar todos os cenários possíveis do uso da cama de aves como fertilizante orgânico. Sendo essas: $\frac{1}{2}$ da dose média recomendada, 2x, 4x, 8x e 16x a dose média recomendada.

Para cada tratamento, a cama de aves foi inicialmente misturada com uma pequena quantidade do solo, em seguida esta porção foi misturada ao restante do solo, para garantir uma boa homogeneização da cama de aves com o solo.

4.2.2.4 *Organismos e condições de cultura*

Os espécimes de *Hypoapsis aculeifer* foram obtidos a partir de culturas estabelecidas no laboratório de Ecologia e Ecotoxicologia de Solos do Departamento de Ciências da Vida - Universidade de Coimbra (Portugal). Os ácaros *H. aculeifer* foram cultivados em caixas de

plástico (10,5 cm de diâmetro e 3,5 cm de altura) contendo como substrato uma mistura de gesso e carvão ativado na proporção 11:1 de peso seco e água, respectivamente. Os organismos foram alimentados semanalmente com “ácaros do queijo” (*Tyrophagus putrescentiae*) e a umidade dos meios de cultivo foi mantida com adição de água destilada. Para os ensaios foram utilizadas fêmeas adultas com idade de 28 - 35 dias de vida obtidas a partir de culturas sincronizadas.

4.2.2.5 *Ensaios ecotoxicológicos*

Os experimentos foram conduzidos no laboratório de Ecologia e Ecotoxicologia de Solos do Departamento de Ciências da Vida da Universidade de Coimbra, Portugal.

Os ensaios com os ácaros *H. aculeifer* foram realizados de acordo com o protocolo OECD 226 (OECD, 2008) com duração de 14 dias. Cada unidade experimental consistiu em um recipiente de vidro (altura de 7 cm e diâmetro de 3,5 cm) contendo 20 g de solo (peso seco) de cada tratamento (solo + dose) e 10 fêmeas de ácaros com idade entre 28 e 35 dias. Os organismos foram alimentados com “ácaros do queijo” no início do ensaio e duas vezes por semana durante a condução do ensaio. Semanalmente os frascos foram abertos para aeração e correção da umidade. Após 14 dias do início dos testes, as unidades experimentais foram colocadas em um extrator Macfadyen usando um ciclo de temperaturas crescentes (12 h a 25 °C, 12 h a 35 °C e 24 h a 45 °C). Os organismos extraídos foram fixados em álcool 70% e contados com auxílio de um microscópio estereoscópico. Os indivíduos adultos e juvenis (separados pelo tamanho) foram contabilizados separadamente.

Os ensaios foram conduzidos em delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições por dose e oito repetições por controle, em ambiente com temperatura 20 ± 2 °C e fotoperíodo 16:8 h (luz/escuro) controlados. O pH do solo dos tratamentos foram medidos no início e no final de cada ensaio.

4.2.2.6 *Análise estatística*

A normalidade e homogeneidade dos dados foram avaliadas utilizando os testes de Kolmogorov-Smirnov e Hartley, Cochran e Bartlett, respectivamente. Quando os pressupostos foram atendidos, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA One-way), seguido pelo teste Dunnett ($p < 0,05$) para avaliar diferenças estatísticas entre os tratamentos e

o controle. As análises estatísticas foram realizadas com o *software* Statistica 7.0 (STATSOFT, 2004).

4.2.3 Resultados

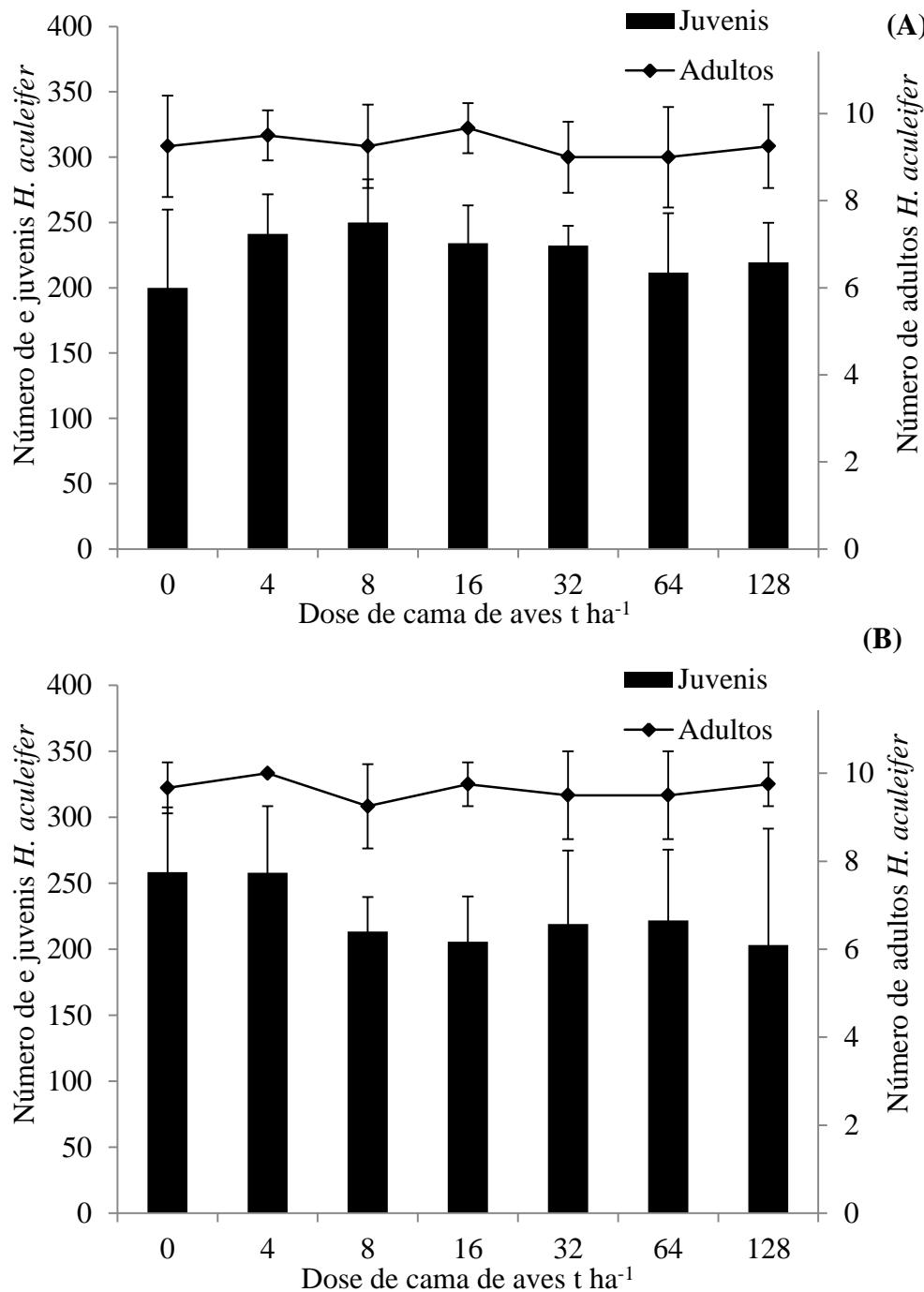
Os ensaios com *H. aculeifer* cumpriram os critérios de validação para o controle estabelecido pelo protocolo OECD 226 (OECD, 2008). A sobrevivência das fêmeas adultas foi $> 80\%$, o número de juvenis no controle foi ≥ 50 e o coeficiente de variação (CV) dos ensaios foi $\leq 30\%$.

Os resultados obtidos mostram que a aplicação de elevadas doses de cama de aves C e NC no Nitossolo e Cambissolo não afetou negativamente ($p > 0,05$) a sobrevivência e a reprodução dessa espécie (Figuras 4.2.1AB e 4.2.2AB).

O tratamento de compostagem da cama de aves não alterou a toxicidade do resíduo para os ácaros *H. aculeifer*. Além disso, não foram encontradas diferenças entre os dois solos estudados. A sobrevivência das fêmeas adultas foi superior a 80% e o número de juvenis gerados foi maior que 180 indivíduos em todos os tratamentos avaliados.

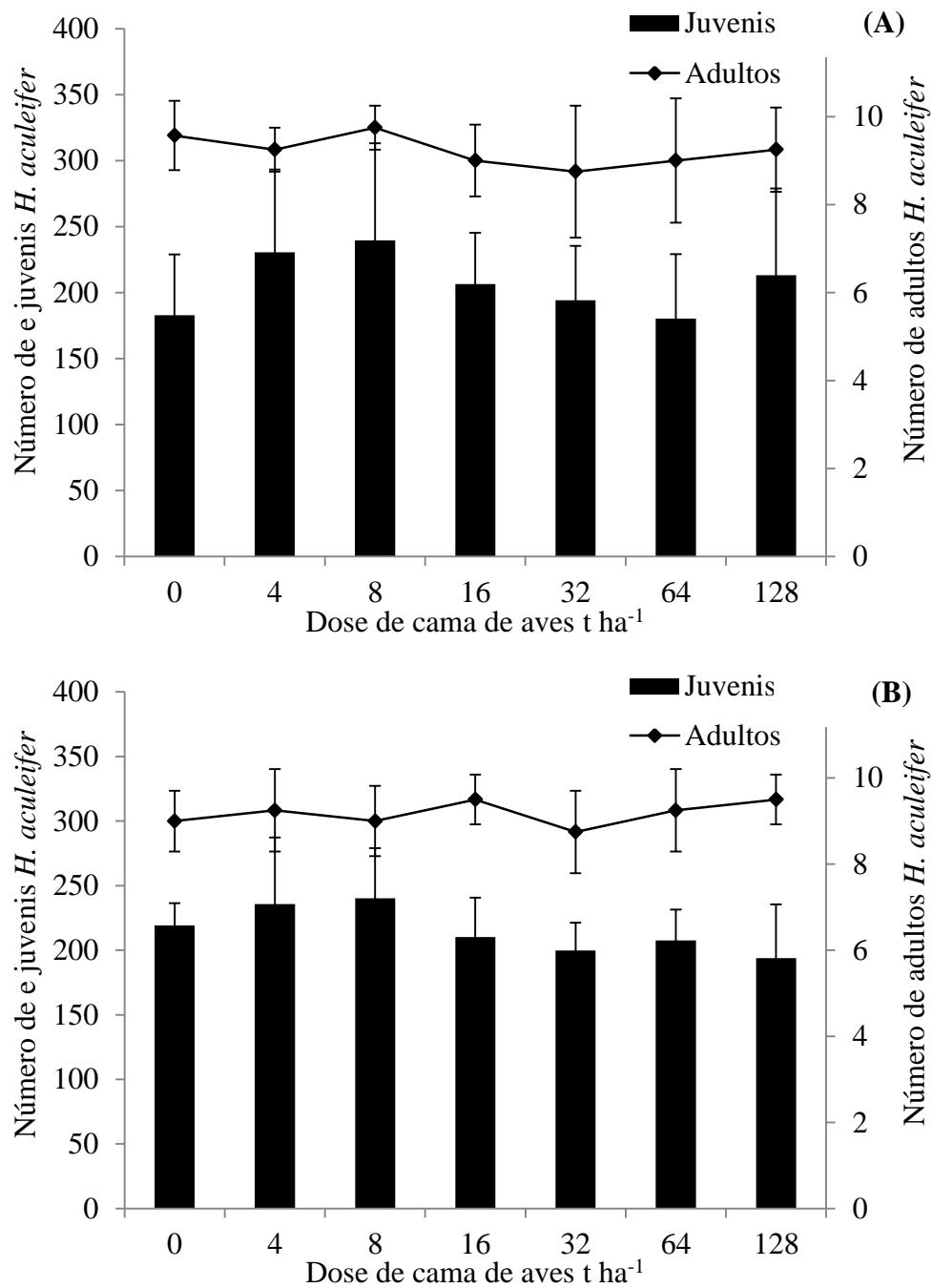
Os valores de concentração letal (CL_{50}) e concentração efetiva (CE_{50}) não foram possíveis de serem calculados uma vez que não houve efeito negativo da cama de aves.

Figura 4.2. 1 - Número de adultos e juvenis *Hypoapsis aculeifer* (média + desvio padrão: n = 8 para controles e n = 4 para doses) em Nitossolo Vermelho distroférreo contaminado com doses crescentes de cama de aves compostada (A) e não compostada (B). * Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Dunnett.



Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Figura 4.2. 2 - Número de adultos e juvenis *Hypoapsis aculeifer* (média + desvio padrão: n = 8 para controles e n = 4 para doses) em Cambissolo Húmico alumínico contaminado com doses crescentes de cama de aves compostada (A) e não compostada (B). * Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Dunnett.



Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Tabela 4.2. 1 - Valores de pH (KCl 1M) obtidos no início e no final do ensaio com *Hypoapsis aculeifer* em Nitossolo Vermelho distroférrico e Cambissolo Húmico alumínico contaminado com doses crescentes de cama de aves no início do teste (Dia zero) e final do teste (14 dias após). (C) Cama de aves compostada e (NC) Cama de aves não compostada.

Doses t ha ⁻¹	Nitossolo				Cambissolo			
	Início do teste		Final de 14 dias		Início do teste		Final de 14 dias	
	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC
0	5,74	5,63	5,89	5,73	5,16	5,7	5,17	5,24
4	5,75	5,79	5,75	5,82	5,28	5,85	5,25	5,36
8	5,76	6,09	5,68	5,88	5,54	6,12	5,56	5,47
16	6,23	6,23	5,83	6,38	6,17	6,32	5,95	5,61
32	6,76	6,79	6,14	6,65	6,41	6,66	6,48	5,92
64	7,33	7,36	6,71	7,13	6,81	6,97	7,25	6,58
128	7,53	7,48	7,44	7,34	7,2	7,2	7,74	7,24

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

4.2.4 Discussão

A aplicação de elevadas doses de cama de aves C e NC no Nitossolo e Cambissolo não apresentou toxicidade para os ácaros da espécie *H. aculeifer*. Nenhum efeito letal e subletal foram observados após a exposição a doses de cama de aves C e NC durante 14 dias, mesmo com a aplicação de 128 t ha⁻¹ de cama.

A baixa sensibilidade dessa espécie a solos contaminados com resíduos orgânicos já foi reportada por outros autores. Em um estudo recente Renaud et al. (2017) avaliando o efeito de diferentes resíduos orgânicos sobre a reprodução de quatro invertebrados do solo (*Folsomia candida*, *Enchytraeus crypticus*, *H. aculeifer*, *Eisenia fetida*) verificaram que *H. aculeifer* foi a espécie de teste menos sensível. A maior tolerância desses organismos em relação a outros invertebrados do solo pode estar relacionada às suas características morfológicas (carapaça dorsal rígida) que podem contribuir para menor exposição aos contaminantes presentes solo (JÄNSCH et al., 2005; PEREIRA et al., 2015).

Os metais pesados (Cu e Zn) são contaminantes potenciais presentes na cama de aves (CQFS, 2016). A ausência de efeitos tóxicos derivados dessa matriz orgânica para os ácaros pode estar relacionada à capacidade dos artrópodes para regular a concentração corporal de metais (SENICZAK e SENICZAK, 2002; OWOJORI e SICILIANO, 2012; HUGUIER et al., 2015).

O tratamento de compostagem da cama de aves não alterou a toxicidade do resíduo para os ácaros. Em nenhum dos parâmetros avaliados (letalidade e reprodução) foram encontradas diferenças no padrão de resposta dos organismos que pudessem ser atribuídas ao grau de estabilização da cama.

Os resultados obtidos foram similares para os dois solos estudados (Nitossolo e Cambissolo) (Figuras 4.2.1AB e 4.2.2AB). Uma das explicações para isso pode ser a semelhança nos teores de matéria orgânica e argila dos dois solos estudados, que podem ter influenciado na biodisponibilidade de contaminantes para os organismos edáficos (Apêndice A). Outra explicação pode ser a baixa sensibilidade desses organismos às características dos solos. Huguier et al. (2015) afirmam que as propriedades do solo, como textura e conteúdo de matéria orgânica, não demonstram ter uma grande influência sobre a letalidade e reprodução de ácaros *H. aculeifer*.

Os valores de pH do Nitossolo e Cambissolo aumentaram com a adição das respetivas doses de cama de aves C e NC (Tabela 4.2.1). Nas maiores doses testadas (64 e 128 t ha⁻¹) os valores obtidos estiveram acima do valor de preferência para espécie *H. aculeifer* (pH de 6) (Jänsch et al., 2005), no entanto, valores de pH do solo acima de 7 não apresentaram efeitos tóxicos distintos para os organismos estudados. Huguier et al. (2015) em uma revisão bibliográfica sobre o uso de ácaros em ensaios ecotoxicológicos afirmam que existem incertezas em relação à tolerância ao pH pelos ácaros e os requisitos ecológicos desta espécie não são bem conhecidos.

Os riscos potenciais dos dejetos animais para esse grupo de invertebrados do solo ainda são pouco estudados e os resultados encontrados na literatura são contraditórios. Em um estudo de campo Minor e Norton (2004) verificaram que ácaros da mesma ordem de *H. aculeifer* (Mesostigmata) são afetados positivamente pela aplicação de biossólidos e dejeito de aves compostado. Em contrapartida, Segat (2016) avaliando o efeito da aplicação de dejeito líquido de suínos da fase de terminação em ensaios de laboratório com ácaros *H. aculeifer* encontrou redução na taxa reprodutiva dos organismos. Essas diferenças encontradas podem ser atribuídas ao tipo e a composição dos dejetos testados.

Nosso estudo oferece informações inéditas sobre a sensibilidade da espécie *H. aculeifer* em testes ecotoxicológicos com cama de aves em dois solos naturais subtropicais. Todavia, outros estudos são necessários, incluindo outras espécies, parâmetros e classes de solos para avaliar os efeitos em curto e em longo prazo desse resíduo para esses invertebrados do solo.

4.2.5 Conclusão

Os ácaros da espécie *Hypoaspis aculeifer* mostraram alta tolerância aos solos com altas doses de cama de aves, independente do tratamento (compostagem) e do tipo de solo avaliado (Nitossolo e Cambissolo). Nenhum efeito negativo foi observado em doses similares às recomendadas de acordo com critérios agronômicos. Os valores de CL₅₀ e CE₅₀ são superiores a maior dose testada de 128 t ha⁻¹.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório anual 2017**. Disponível em: < <http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/publicacoes/relatorios-anuais> > Acesso em: 27 set. 2017.

BOLAN, N. S. et al. Uses and management of poultry litter. **World's Poultry Science Journal**, Cambridge, v. 66, n. 4, p. 673-698, 2010.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2016. 376 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

GARCIA, M. V. **Effects of pesticides on soil fauna: Development of ecotoxicological test methods for tropical regions**. 2004. 281p. (Thesis research work). University of Bonn. Germany.

HAHN, L. et al. Persistência de patógenos e do antibiótico salinomicina em pilhas de compostagem de cama de aviário. **Archivos de Zootecnia**, Cordoba, v. 61, n. 234, p. 279-285, 2012.

HO, Y. B. et al. Degradation of veterinary antibiotics and hormone during broiler manure composting. **Bioresource Technology**, Essex, v. 131 p. 476-484, 2013.

HUANG, Y. et al. Biochar and renewable energy generation from poultry litter waste: A technical and economic analysis based on computational simulations. **Applied Energy**, London, v. 160, n. 15, p. 656-663, 2015.

HUGUIER, P. et al. The use of soil mites in ecotoxicology: a review. **Ecotoxicology**, sl., v.24, n. 1, p. 1-18, 2015.

JÄNSCH, S.; AMORIM, M. J.; RÖMBKE, J. Identification of the ecological requirements of important terrestrial ecotoxicological test species. **Environmental Review**, Denver, v. 13, p. 51-83, 2005.

MARKOU, G. Improved anaerobic digestion performance and biogas production from poultry litter after lowering its nitrogen content. **Bioresource Technology**, Essex, v. 196, p. 726-730, 2015.

MINOR, M. A.; NORTON, R. A. Effects of soil amendments on assemblages of soil mites (Acari: Oribatida, Mesostigmata) in short-rotation willow plantings in central New York. **Canadian Journal of Research**, Ottawa, v. 34, n. 7, p. 1417-1425, 2004.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **OECD 207**. Guideline for Testing of Chemicals: Earthworm Acute Toxicity Test. Paris, 1984.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **OECD 226**. Guidelines for the testing of Chemicals: Predatory mite (*Hypoaspis* (*Geolaelaps*) *aculeifer*) reproduction test in soil. Paris, 2008.

OWOJORI, O. J.; SICILIANO, S. D. Accumulation and toxicity of metals (copper, zinc, cadmium, and lead) and organic compounds (geraniol and benzo[a]pyrene) in the oribatid mite *Oppia nitens*. **Environmental Toxicology and Chemistry**. New York, v. 31, n. 7, p. 1639-1648, 2012.

OWOJORI, O. J.; WASZAK, K.; RÖMBKE, J. Avoidance and reproduction tests with the predatory mite *Hypoaspis aculeifer*: effects of different chemical substances. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v. 33, n.1, p. 230-237, 2014.

PEREIRA, C. S. et al. Effects of NaCl and seawater induced salinity on survival and reproduction of three soil invertebrate species. **Chemosphere**, Oxford, v. 135, p.116-122, 2015.

PERONDI, D. et al. Steam gasification of poultry litter biochar for bio-syngas production. **Process Safety and Environmental Protection**, Rugby, v. 109, p. 478-488, 2017.

RAMASWAMY, J. et al. The effect of composting on the degradation of a veterinary pharmaceutical. **Bioresource Technology**, Essex, v. 101, n. 7, p. 2294-2299, 2010.

RENAUD, M. et al. Organic wastes as soil amendments – Effects assessment towards soil invertebrates. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 330, p. 149-156, 2017.

ROGERI, D. A. et al. Mineralização e nitrificação do nitrogênio proveniente da cama de aves aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n. 6, p. 534-540, 2015.

SEGAT, J. C. **Avaliação ecotoxicológica da aplicação de dejeto líquido de suínos em solos subtropicais**. 2016. 304 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

SENICZAK A; SENICZAK, S. The effect of cadmium on *Archegozetes longisetosus* (Acari, Oribatida) in laboratory conditions. **European Journal of Soil Biology**, Montrouge, v. 38, n. 3-4. p. 315-317, 2002.

STATISTIC. StatSoft, Inc. (2004). **STATISTICA (data analysis software system)**, version 7. Disponível em: <www.statsoft.com>. Acesso em: 20 set. 2017.

TEMPLE, W. D.; SKOWROŃSKA, M.; BOMKE, A. A. Centrifugal spreader mass and nutrients distribution patterns for application of fresh and aged poultry litter. **Journal of Environmental Management**, London, v. 139, p. 200-207, 2014.

ŽIŽEK, S. et al. Does monensin in chicken manure from poultry farms pose a threat to soil invertebrates? **Chemosphere**, Oxford, v. 83, n.4, p. 517-523, 2011.

ZORTÉA, T. et al. Influence of cypermethrin on avoidance behavior, survival and reproduction of *Folsomia candida* in soil. **Chemosphere**, Oxford, v. 122, p. 94-98, 2015.

4.3 CAPÍTULO III - EFEITOS DA CAMA DE AVES SOBRE A SOBREVIVÊNCIA E REPRODUÇÃO DE *Eisenia andrei* E *Enchytraeus crypticus* (OLIGOCHAETAS).

RESUMO

A utilização da cama de aves como fertilizante orgânico em solos agrícolas é uma prática comum na região Sul do Brasil. A aplicação desses dejetos no solo pode ocasionar efeitos positivos ou negativos para as oligochaetas terrestres e afetar a qualidade do solo. Este estudo teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de doses de cama de aves compostada (C) e não compostada (NC) sobre a sobrevivência e reprodução de duas espécies de oligochaetas (minhocas *Eisenia andrei* e enquietreídeos *Enchytraeus crypticus*) por meio de ensaios ecotoxicológicos padronizados (ISO). A cama de aves foi testada em dois solos, o Nitossolo Vermelho distroférrico (Nitossolo) e Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo), representativos do estado de Santa Catarina em termos de uso de cama de aves como fertilizante. Os tratamentos consistiram em doses de cama de aves C e NC (0, 2, 4, 8, 16, 32 e 64 t ha⁻¹), adicionadas aos dois solos. Os ensaios foram conduzidos em delineamento experimental inteiramente casualizado, com cinco repetições em ambiente com temperatura e fotoperíodo controlados. A adição de cama de aves em Nitossolo e Cambissolo ocasionou efeitos distintos para os dois organismos estudados. Os enquietreídeos não apresentaram resposta negativa à aplicação de cama de aves em nenhum dos parâmetros avaliados (sobrevivência e reprodução). Por outro lado, a reprodução das minhocas foi significativamente afetada pela aplicação de 64 t ha⁻¹ cama de aves. Não foram encontradas diferenças de toxicidade entre a cama de aves C e NC dentro de cada solo e nem diferenças entre os solos. Os valores de concentração efetiva (CE₅₀) calculados para *E. andrei* nos diversos tratamentos foram semelhantes, variando entre 42 e 47 t ha⁻¹ de cama de aves. Estudos adicionais com a cama de aves envolvendo outras espécies de oligochaetas e classes de solos, especialmente mais arenosas são necessários para conhecer os riscos potenciais e as doses apropriadas e, apartir disso, elaborar normas relacionadas ao uso agrícola da cama de aves.

Palavras-chaves: Avaliação ecotoxicológica. Compostagem. Oligochaetas terrestres. Resíduo orgânico.

ABSTRACT

The use of poultry litter as an organic fertilizer in agricultural soils is a common practice of southern Brazil. The application of these manure in the soil can have positive or negative effects on terrestrial oligochaetas and affect soil quality. The aim of this study was to evaluate the effect of composted (C) and non composted poultry litter (NC) on the survival and reproduction of two species of oligochaetas (*Eisenia andrei* and *Enchytraeus crypticus*) by means of standardized ecotoxicological tests. The poultry litter was tested in two soils representative of the state of Santa Catarina (Nitossol and Cambisol) in terms of the use of poultry litter as fertilizer. The treatments consisted of doses poultry litter C and NC (0, 2, 4, 8, 16, 32 and 64 t ha⁻¹), added to the two soils. The tests were carried out in a completely randomized design with five replicates in an environment with controlled temperature and photoperiod. The addition of poultry litter in Nitossol and Cambisol caused different effects for the two organisms studied. The potworms did not present negative response to the application of poultry litter in any of the evaluated parameters (survival and reproduction). On the other hand, the reproduction of the earthworms was significantly affected by the application of 64 t

ha⁻¹ poultry litter. No differences in toxicity were found between the poultry litter C and NC within each soil and no differences between soils. The effective concentration values (EC₅₀) calculated for *E. andrei* in the various treatments were similar, oscillating between 42 and 47 t ha⁻¹ of poultry litter. Additional studies with the poultry litter involving other species of oligochaetas and classes of soils, especially sandy, are necessary to know the potential risks and the appropriate doses and to elaborate standards related to the agricultural use of the poultry litter.

Key-words: Ecotoxicological assessment. Composting. Terrestrial Oligochaetas. Organic waste.

4.3.1 Introdução

A avicultura de corte é uma atividade de grande importância econômica para o Brasil. Santa Catarina é um dos principais estados produtores e exportadores de carne de frango do país (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL – ABPA, 2017), onde a produção ocorre de maneira concentrada em pequenas propriedades rurais localizadas principalmente na região Oeste do estado (LOURENÇO et al., 2013).

A concentração e intensificação da atividade avícola na região tem como consequência a geração de um volume muito grande de cama de aves, que geralmente é aplicada em solos agrícolas *in natura* (fresca) ou após passar por um tratamento de compostagem.

A aplicação desse resíduo no solo quando não realizada de acordo com os critérios adequados pode representar um risco potencial para as oligochaetas terrestres. A cama de aves pode conter em sua composição, metais como cobre (Cu) e zinco (Zn), utilizados na dieta das aves como promotores de crescimento (OVIEDO-RONDÓN, 2008; FONT-PALM, 2012). Quando em excesso no solo, esses metais podem afetar negativamente esse grupo de invertebrados do solo (SEGAT et al., 2015; ZORTÉA et al., 2016; RENAUD et al., 2017). Além dos metais, a cama de aves contém altos teores de nitrogênio (N) (Delgado et al., 2012; Aita et al., 2013; Markou, 2015) na forma orgânica (ROGERI et al., 2016). De acordo com a literatura uma grande parte do nitrogênio orgânico, cerca de 40-90% pode ser convertido pela atividade microbiana em amônio (N-NH₄⁺) ou amônia (N-NH³) dependendo das condições ambientais (KELLEHER et al., 2002; FONT-PALMA, 2012). As minhocas são sensíveis à NH₃ e não sobrevivem em resíduos com alta concentração desse gás, como por exemplo, em cama de aves (fresca) *in natura* (DOMINGUEZ e EDWARDS, 2011).

A realização da compostagem da cama de aves antes de sua aplicação no solo é uma forma de reduzir a liberação dessas substâncias nocivas para os invertebrados do solo. De acordo com Bernal et al. (2009) ao longo do processo de compostagem, ocorre a formação de

compostos de N estáveis, que são menos suscetíveis à volatilização, desnitrificação e lixiviação. No entanto, apesar da compostagem ser uma prática recomendada (Hahn et al., 2012), nem sempre esse tratamento é realizado, especialmente em pequenas propriedades rurais onde os produtores não possuem máquinas e equipamentos próprios para a remoção e distribuição dos resíduos nas áreas agrícolas.

Pesquisas para avaliar os efeitos adversos da aplicação da cama de aves com diferentes graus de estabilização (compostada e não compostada) sobre as oligochaetas terrestres não foram encontradas na literatura. Conhecer esses efeitos em solos da região Sul do Brasil é importante, uma vez que, nessa região esses resíduos acabam sendo aplicados continuamente nas mesmas áreas e em muitos casos sem tratamento (compostagem) e em volumes que excedem a capacidade suporte dos solos.

O estudo teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de doses de cama de aves compostada e não compostada em dois solos subtropicais (Nitossolo e Cambissolo), sobre a sobrevivência e reprodução de duas espécies de Oligochaetas terrestres ecologicamente relevantes (minhocas *Eisenia andrei* e enquitreídeos *Enchytraeus crypticus*). As espécies selecionadas para os ensaios possuem protocolos padronizados (ISO 16387, 2004; ISO 11268-1, 1993; ISO 11268-2, 1998) e são recomendadas como boas indicadoras em ensaios com dejetos animais (SEGAT et al., 2015; SEGAT, 2016).

Nossas hipóteses são: (I) a aplicação de elevadas doses de cama de aves no solo pode ocasionar efeitos negativos para as oligochaetas terrestres e assim afetar a qualidade do solo; (II) o tratamento de compostagem da cama de aves antes de sua aplicação no solo altera a toxicidade da cama de aves para minhocas *Eisenia andrei* e enquitreídeos *Enchytraeus crypticus*; e (III) os efeitos observados serão distintos para os dois solos estudados, devido às propriedades que influenciam a disponibilidade de compostos potencialmente perigosos presentes na matriz orgânica.

4.3.2 Material e Métodos

4.3.2.1 Solos e Cama de aves

Para o estudo foram utilizados dois solos naturais, classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006) como Nitossolo Vermelho distroférrico (Nitossolo) e Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo). As características

físicas e químicas de cada solo estão apresentadas no Apêndice A. Outras informações sobre os solos podem ser obtidas no Capítulo I, Item 4.1.2.1.

A cama de aves utilizada para os testes foi coletada em uma granja com produção comercial de frangos de corte. Mais detalhes sobre a cama de aves podem ser obtidos no material e métodos geral Item 3.2. Características físico-químicas da cama de aves compostada (C) e não compostada (NC) são apresentadas no Apêndice B.

4.3.2.2 *Procedimentos de teste*

Os tratamentos consistiram na aplicação de doses cama de aves C e NC no Nitossolo e Cambissolo. As doses de cama de aves foram estabelecidas com base no Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFSRS/SC, 2016). A dose de 8 t ha^{-1} foi determinada para representar uma dose agronômica semelhante a utilizada em nível de campo. Baseado nessa dose, doses maiores e menores foram estabelecidas para avaliar diferentes cenários do uso da cama de aves como fertilizante.

As doses testadas nos ensaios de toxicidade aguda (letalidade) foram: 0, 2, 4, 8, 16 e 24 t ha^{-1} de cama de aves C e NC (primeiro ensaio). Não sendo observado efeito letal nesse ensaio, doses maiores foram estabelecidas e testadas sendo estas: 0, 40, 60, 80, 100, 130 e 160 t ha^{-1} de cama de aves C e NC (segundo ensaio). A partir desses resultados novas doses foram estabelecidas (0, 2, 4, 8, 16, 32 e 64 t ha^{-1} de cama de aves C e NC) e testadas para avaliar a toxicidade crônica (reprodução).

Para cada tratamento, a cama de aves foi inicialmente misturada com uma pequena quantidade do solo, em seguida esta porção foi misturada ao restante do solo, para garantir uma boa homogeneização da cama de aves com o solo.

Os ensaios foram conduzidos em delineamento experimental inteiramente casualizado, com cinco repetições, em ambiente com temperatura $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e fotoperíodo 12:12 h (luz/escuro) controlados.

4.3.2.3 *Análises químicas*

As concentrações de N-mineral no solo (amônio N-NH_4^+ e nitrato N-NO_3^-) foram determinadas após a adição das respectivas doses (0, 2, 4, 8, 16, 32 e 64 t ha^{-1}) de cama de aves C e NC nos solos. O N-mineral de cada amostra (solo + dose) foi extraído com solução

de KCl 1,0 mol L⁻¹. Em seguida uma alíquota de 20 mL foi destilada em aparelho Kjeldahl, para obter as quantidades de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ utilizando 0,2 g de óxido de magnésio (MgO) e 0,2 g de liga de Devarda, respectivamente (TEDESCO et al., 1995).

Os teores totais de cobre (Cu) e zinco (Zn) nos solos após a adição da cama de aves foram determinados pelo método da USEPA 3050B, da agencia de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA, 1998) e obtidos em espectrometria de emissão óptica com plasma, ICP OES (OPTIMA 8300). A análise foi realizada em triplicata.

4.3.2.4 Organismos e condições de cultura

Ambas as espécies utilizadas nos ensaios foram obtidas a partir de culturas estabelecidas no Laboratório de Solos e Sustentabilidade UDESC Oeste. As minhocas (*E. andrei*) foram criadas em caixas de plástico (volume de 9 L) utilizando como substrato, uma mistura de esterco de equino, pó de fibra de coco e areia fina na proporção (2:1:0,15) de peso seco, respectivamente. O pH do substrato foi corrigido para faixa entre 6,0±0,5 com adição de CaCO₃ e a umidade ajustada para 40-60% da capacidade máxima de retenção (CMR) com adição de água destilada. Semanalmente, os organismos foram alimentados com uma mistura de aveia cozida, na proporção de 2:1 (v/v) e o teor de umidade do substrato ajustado para faixa ideal. Para os ensaios foram utilizados indivíduos adultos (clitelados), com um peso corporal de 250-600 mg conforme recomendações da ISO 11268-2 (1998).

Os enquitreídeos (*E. crypticus*) foram criados em caixas de plástico (volume de 200 mL) utilizando como substrato o solo artificial tropical (SAT) (GARCIA, 2004). O pH do substrato foi corrigido para faixa entre 6,0±0,5 com adição de CaCO₃ e a umidade ajustada para 70% da CMR. Os meios de cultivos foram mantidos úmidos e semanalmente os organismos alimentados com uma mistura de aveia em flocos e água destilada, na proporção de 2:1 (v/v). Para os ensaios foram utilizados indivíduos adultos com clitelo aparente.

4.3.2.5 Ensaios ecotoxicológicos com *E. andrei*

O ensaio de letalidade seguiu as recomendações da ISO 11268-1 (ISO, 1993) com duração de 14 dias. Cada réplica consistiu em um recipiente de plástico (diâmetro: 14 cm; altura: 9 cm) contendo 500 g de solo de cada tratamento (peso fresco) e 10 indivíduos adultos (clitelados). Os organismos foram alimentados no início do teste com aproximadamente 5 g de esterco equino (seco, peneirado e desfaunado) e os frascos abertos a cada dois dias para aeração. Após 14 dias foi realizada a avaliação da letalidade de indivíduos.

O ensaio de toxicidade crônica (reprodução) seguiu as recomendações da ISO 11268-2 (ISO, 1998), com duração de 56 dias. Cada réplica consistiu de um recipiente de plástico (diâmetro: 14 cm; altura: 9 cm), contendo 500 g de cada tratamento testado (peso fresco), com 10 indivíduos adultos (clitelados). Os organismos foram alimentados no início do teste e aos 7, 14 e 21 dias com aproximadamente 5 g de esterco equino (seco, peneirado e desfaunado) e os frascos abertos a cada dois dias para aeração. Após 28 dias, os indivíduos adultos foram removidos dos recipientes, os casulos foram mantidos e incubados por mais 28 dias para eclosão. Ao final do ensaio, os recipientes foram colocados em banho-maria a 60 ± 5 °C por 1 hora e os juvenis foram contados.

4.3.2.6 *Ensaios ecotoxicológicos com E. crypticus*

Os ensaios de letalidade seguiram o protocolo ISO 16387 (ISO, 2004). Cada réplica consistiu em um recipiente de plástico (diâmetro 7 cm; altura: 6 cm), preenchido com 30 g de cada tratamento testado (peso fresco), com 10 indivíduos clitelados e com tamanho similar. Os organismos foram alimentados no início do teste com uma mistura de aveia em flocos e água destilada. A cada dois dias os recipientes foram abertos para aeração. Após 14 dias foi feita a avaliação da letalidade de indivíduos.

Os ensaios de reprodução seguiram as recomendações da ISO 16387 (ISO, 2004). Cada réplica consistiu em um recipiente de plástico (diâmetro: 3,5 cm; altura: 11,5 cm), preenchido com 30 g de cada tratamento testado (peso fresco), com 10 indivíduos clitelados e com tamanho similar. Os organismos foram alimentados no início do teste e aos 7, 14 e 21 dias com uma mistura de aveia em flocos e água destilada. A cada dois dias os frascos foram abertos para aeração. Após 28 dias, as amostras foram fixadas adicionando 15 mL de álcool absoluto 99% e coradas com solução de rosa de bengala (1% em etanol). Em seguida, os recipientes foram fechados hermeticamente e agitado vagarosamente durante 10 segundos e incubados durante 48 h para obter a coloração dos organismos. A partir de três dias, cada amostra foi cautelosamente peneirada a 250 μm para separar os enquistreídeos do solo e transferida para uma placa de petry dividida em frações para otimizar a contagem dos indivíduos em uma lupa, e assim avaliar o número de juvenis.

4.3.2.7 Análise Estatística

A normalidade e homogeneidade dos dados foram avaliadas utilizando os testes de Kolmogorov-Smirnov e Hartley, Cochran e Bartlett, respectivamente. Quando os pressupostos foram atendidos, foi realizada a análise de variância (ANOVA One-way), seguido pelo teste Dunnett ($p < 0,05$) para avaliar diferenças estatísticas entre os tratamentos e o controle. Os valores de CE_{50} (concentração que reduz em 50% a reprodução quando comparado ao controle) foram estimados utilizando regressão não linear com modelos pré-definidos escolhidos com base no melhor ajuste para os dados sendo o Logístico para dados com *E. andrei* na cama C e NC no Nitossolo e Hormese para dados com *E. andrei* na cama C e NC no Cambissolo (ENVIRONMENT CANADA, 2005). As análises estatísticas foram realizadas com o software Statistica 7.0 (STATSOFT, 2004). Para verificar se o tratamento de compostagem alterou a toxicidade da cama de aves, foi realizado o teste de significância de Behrens-Fisher ($p \leq 0,05$) (*generalized likelihood ratio test*) conforme sugerido por Natal-da-Luz et al. (2011), onde foi comparado os valores de CE_{50} obtidos para a cama de aves C e NC dentro de cada solo.

4.3.3 Resultados

Todos os ensaios cumpriram os critérios de validação de acordo com as respectivas normas ISO. Nos ensaios de letalidade aos 14 dias com *E. andrei* a taxa de sobrevivência das minhocas adultas foi superior a 90% do total de indivíduos nos controles. Nos ensaios de reprodução com *E. andrei* a taxa de letalidade das minhocas adultas não excedeu 10% do total de indivíduos nos controles, o número de juvenis foi superior a 30 e o coeficiente de variação (CV) dos controles foi inferior a 30%. Nos ensaios de reprodução com *E. crypticus* o número de juvenis por réplica do controle foi maior que 25 e o CV foi menor que 50%.

Nenhum efeito letal para as minhocas foi observado após a exposição a doses de cama de aves C e NC durante 14 dias, mesmo com a aplicação de 160 t ha^{-1} de cama (Tabela 4.3.1).

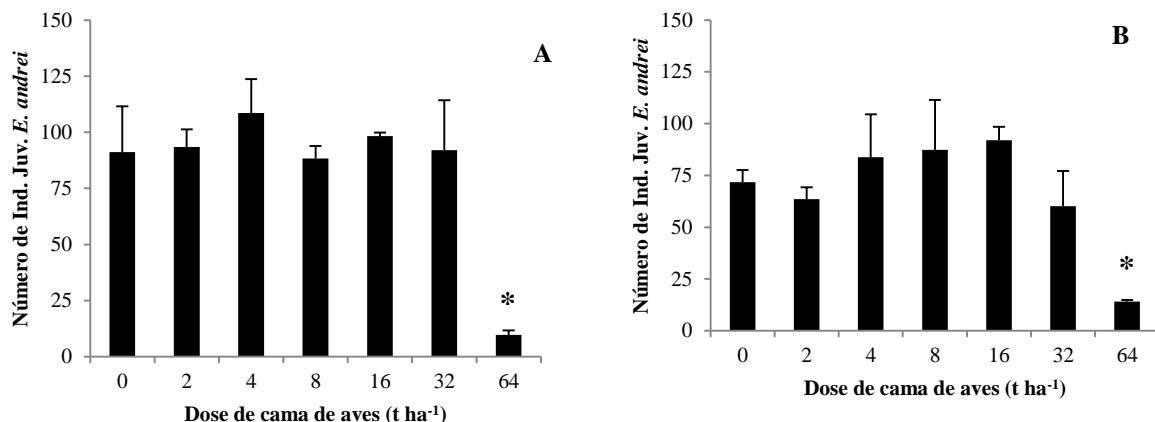
Tabela 4.3. 1 - Número médio de indivíduos adultos aos 14 dias (\bar{X}) \pm desvio padrão (DP) de *Eisenia andrei* em Nitossolo Vermelho distroférreo (Nitossolo) e Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo) contaminado com doses crescentes de cama de aves ($t \text{ ha}^{-1}$) compostada (C) e não compostada (NC). * Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$), ns não significativa ($p > 0,05$) pelo teste de Dunnett ($n=5$).

Dose $t \text{ ha}^{-1}$	Nitossolo		Cambissolo	
	C	NC	C	NC
0	10,0 \pm 0,00	10,0 \pm 0,00	9,50 \pm 1,00	9,75 \pm 0,50
2	9,75 \pm 0,50 ^{ns}	10,0 \pm 0,00 ^{ns}	10,0 \pm 0,00 ^{ns}	10,0 \pm 0,00 ^{ns}
4	9,75 \pm 0,50 ^{ns}			
8	10,0 \pm 0,00 ^{ns}			
16	10,0 \pm 0,00 ^{ns}	10,0 \pm 0,00 ^{ns}	10,0 \pm 0,00 ^{ns}	9,75 \pm 0,50 ^{ns}
24	10,0 \pm 0,00 ^{ns}			
0	10,0 \pm 0,00	10,0 \pm 0,00	10,0 \pm 0,00	10,0 \pm 0,00
40	10,0 \pm 0,00 ^{ns}	9,66 \pm 0,57 ^{ns}	10,0 \pm 0,00 ^{ns}	10,0 \pm 0,00 ^{ns}
60	10,0 \pm 0,00 ^{ns}			
80	10,0 \pm 0,00 ^{ns}			
100	10,0 \pm 0,00 ^{ns}			
130	10,0 \pm 0,00 ^{ns}			
160	10,0 \pm 0,00 ^{ns}			

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

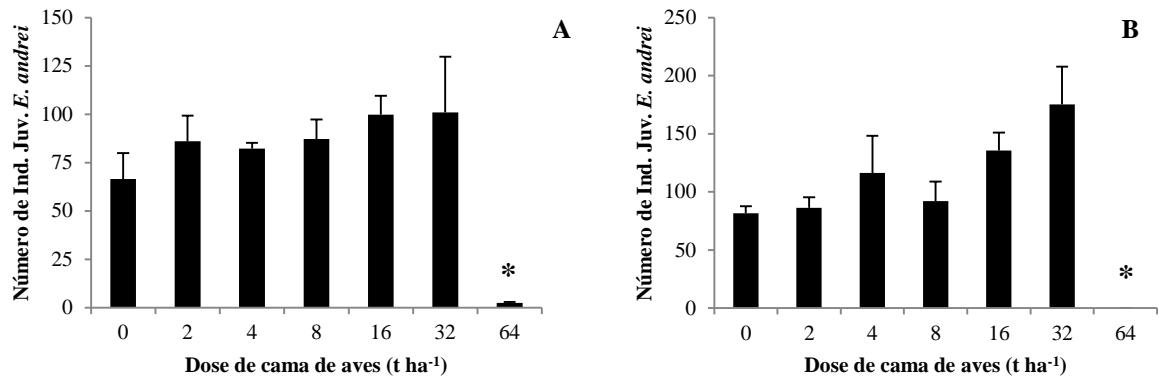
Nos ensaios de toxicidade crônica foi possível verificar que a adição de até 32 $t \text{ ha}^{-1}$ de cama de aves no solo aumentou a reprodução das minhocas. No entanto, a aplicação de 64 $t \text{ ha}^{-1}$ de cama de aves C e NC ocasionou uma redução significativa ($p \leq 0,05$) no número de juvenis gerados (Figuras 4.3.1AB e 4.3.2AB).

Figura 4.3. 1 - Número médio de indivíduos (Ind.) juvenis (Juv.) (+DP) de *Eisenia andrei* em Nitossolo Vermelho distroférreo contaminado com doses crescentes de cama de aves. Compostada (A) e não compostada (B) * Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Dunnett ($n=5$).



Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Figura 4.3. 2 - Número médio de indivíduos (Ind.) juvenis (Juv.) (+DP) de *Eisenia andrei* em Cambissolo Húmico alumínico contaminado com doses crescentes de cama de aves. Compostada (A) e não compostada (B). * Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Dunnett ($n=5$).



Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Os resultados obtidos nos ensaios com *E. crypticus* mostram que a aplicação de cama de aves C e NC em Nitossolo e Cambissolo não afetou negativamente a sobrevivência e nem o potencial reprodutivo dessa espécie.

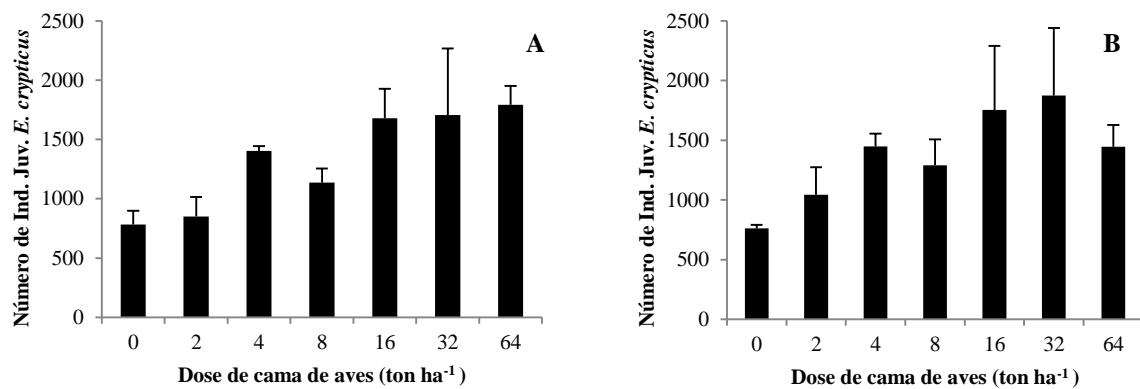
A sobrevivência dos adultos foi superior a 80% em todos os tratamentos testados (Tabela 4.3.2). Nos ensaios de reprodução a adição da cama de aves nos solos apresentou efeitos positivos para os organismos. O número de juvenis gerados nos solos tratados com a cama de aves foi maior em relação ao solo controle (0 t ha^{-1}) (Figuras 4.3.3AB e 4.3.4AB).

Tabela 4.3. 2 - Número médio de indivíduos adultos aos 14 dias (\bar{X}) \pm desvio padrão (DP) de *Enchytraeus crypticus* em Nitossolo Vermelho distroférrico (Nitossolo) e Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo) contaminado com doses crescentes de cama de aves ($t \text{ ha}^{-1}$) compostada (C) e não compostada (NC). * Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$), ns não significativa ($p > 0,05$) pelo teste de Dunnett (n=5).

Dose $t \text{ ha}^{-1}$	Nitossolo		Cambissolo	
	C	NC	C	NC
0	9,00 \pm 1,40	10,0 \pm 0,00	7,75 \pm 2,10	8,66 \pm 1,20
2	8,50 \pm 1,70 ^{ns}	10,0 \pm 0,00 ^{ns}	8,75 \pm 1,90 ^{ns}	8,00 \pm 1,00 ^{ns}
4	9,25 \pm 1,00 ^{ns}	8,66 \pm 1,50 ^{ns}	8,50 \pm 1,70 ^{ns}	8,00 \pm 1,00 ^{ns}
8	8,75 \pm 1,00 ^{ns}	9,66 \pm 0,60 ^{ns}	7,50 \pm 2,10 ^{ns}	9,33 \pm 1,20 ^{ns}
16	9,00 \pm 2,00 ^{ns}	8,33 \pm 1,20 ^{ns}	8,25 \pm 1,30 ^{ns}	10,0 \pm 0,00 ^{ns}
24	9,75 \pm 0,50 ^{ns}	9,66 \pm 0,20 ^{ns}	8,50 \pm 1,70 ^{ns}	9,66 \pm 0,60 ^{ns}
0	9,66 \pm 0,58	9,66 \pm 0,58	10,0 \pm 0,00	9,66 \pm 0,57
40	10,0 \pm 0,00 ^{ns}	9,66 \pm 0,58 ^{ns}	9,00 \pm 1,00 ^{ns}	9,00 \pm 1,00 ^{ns}
60	9,66 \pm 0,58 ^{ns}	9,33 \pm 0,57 ^{ns}	9,66 \pm 1,00 ^{ns}	8,66 \pm 1,50 ^{ns}
80	10,0 \pm 0,00 ^{ns}	9,33 \pm 0,57 ^{ns}	9,33 \pm 1,00 ^{ns}	10,0 \pm 0,00 ^{ns}
100	10,0 \pm 0,00 ^{ns}	8,66 \pm 0,57 ^{ns}	10,0 \pm 0,00 ^{ns}	9,66 \pm 0,57 ^{ns}
130	9,66 \pm 0,58 ^{ns}	9,33 \pm 1,15 ^{ns}	9,33 \pm 1,00 ^{ns}	9,33 \pm 1,14 ^{ns}
160	10,0 \pm 0,00 ^{ns}	8,33 \pm 0,57 ^{ns}	10,0 \pm 1,00 ^{ns}	8,33 \pm 0,57 ^{ns}

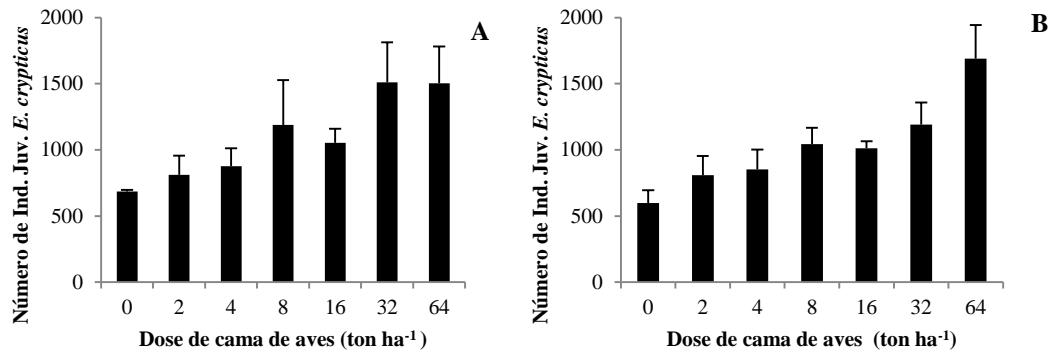
Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Figura 4.3. 3 - Número médio de indivíduos (Ind.) juvenis (Juv.) (+DP) de *Enchytraeus crypticus* em Nitossolo Vermelho distroférrico contaminado com doses crescentes de cama de aves. Compostada (A) e não compostada (B). * Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Dunnett (n=5).



Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Figura 4.3. 4 - Número médio de indivíduos (Ind.) juvenis (Juv.) (+DP) de *Enchytraeus crypticus* em Cambissolo Húmico alumínico contaminado com doses crescentes de cama de aves. Compostada (A) e não compostada (B). * Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Dunnett ($n=5$).



Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Os valores de concentração efetiva CE_{50} estimados para cada espécie são apresentados na Tabela 4.3.3. De modo geral, não foram encontradas diferenças de toxicidade entre a cama de aves C e NC e entre os solos (Nitossolo e Cambissolo). Os valores de CE_{50} calculados para *E. andrei* nos diversos tratamentos foram muito semelhantes, oscilando entre 42 e 47 t ha⁻¹ de cama de aves (Tabela 4.3.3). Nos testes com *E. crypticus* os valores de CE_{50} não foram possíveis de serem calculados, uma vez que, não houve efeito negativo das camas de aves (Tabela 4.3.3).

Tabela 4.3. 3 - Concentração efetiva CE_{50} (t ha⁻¹) para *Eisenia andrei* e *Enchytraeus crypticus* em Nitossolo Vermelho distroférreo (Nitossolo) e Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo) contaminado com doses crescentes de cama de aves compostada (C) e não compostada (NC).

		<i>E. andrei</i>	<i>E. crypticus</i>
Nitossolo	C	47,77 (36,79 – 58,74)	> 64
	NC	43,00 (33,07 – 52,93)	> 64
Cambissolo	C	43,24 (27,21 – 59,27)	> 64
	NC	42,26*	> 64

*Intervalo de confiança não calculado.

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Os teores de amônio ($N-NH_4^+$) e nitrato ($N-NO_3^-$) encontrados no Nitossolo e Cambissolo após a adição da cama de aves encontram-se apresentados na Tabela 4.3.4.

Tabela 4.3. 4 - Teores de amônio (N-NH_4^+) e nitrato (N-NO_3^-) (mg kg^{-1}) quantificados para cada dose de cama de aves compostada (C) e não compostada (NC) após a adição no Nitossolo Vermelho distroférreo (Nitossolo) e Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo).

Doses t ha^{-1}	Nitossolo				Cambissolo			
	C		NC		C		NC	
	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-
0	35,87	3,72	35,87	3,72	34,3	22,9	34,3	22,9
2	44,1	2,16	51,55	6,08	25,28	15,87	33,91	6,1
4	48,02	6,08	52,33	7,64	49,59	14,7	37,83	15,9
8	54,29	7,25	57,82	6,47	58,21	13,5	39,00	15,1
16	60,17	9,6	93,49	7,25	72,32	37,4	73,11	4,9
32	83,3	17,44	131,91	3,72	87,22	24,1	99,76	6,9
64	153,86	48,8	183,26	4,12	129,16	42,5	164,05	15,1

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

As concentrações totais de metais Cu e Zn encontradas para ambos os solos se encontram apresentadas na Tabela 4.3.5.

Tabela 4.3. 5 - Valores médios (\bar{X}) \pm desvio padrão (DP) de cobre (Cu) e zinco (Zn) quantificados (mg kg^{-1}) para cada dose de cama de aves compostada (C) e não compostada (NC) aplicadas no Nitossolo Vermelho distroférreo (Nitossolo) e Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo).

Doses (t ha^{-1})	Nitossolo		C		NC	
	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn
0	$159,62 \pm 6,67$	$92,34 \pm 8,40$	$159,62 \pm 6,67$	$92,34 \pm 8,40$		
2	$169,13 \pm 11,40$	$92,54 \pm 5,50$	$161,61 \pm 7,42$	$79,79 \pm 6,62$		
4	$164,63 \pm 4,61$	$85,58 \pm 2,21$	$152,89 \pm 8,97$	$80,42 \pm 6,64$		
8	$160,52 \pm 6,60$	$83,50 \pm 4,98$	$147,60 \pm 8,52$	$79,84 \pm 4,39$		
16	$159,74 \pm 2,12$	$86,04 \pm 0,90$	$140,91 \pm 1,85$	$76,06 \pm 1,38$		
32	$176,00 \pm 7,46$	$91,83 \pm 9,09$	$135,21 \pm 3,33$	$68,78 \pm 4,12$		
64	$184,89 \pm 5,03$	$101,62 \pm 1,70$	$142,07 \pm 4,87$	$75,75 \pm 4,69$		
Doses (t ha^{-1})	Cambissolo		C		NC	
	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn
0	$12,36 \pm 0,30$	$15,16 \pm 2,29$	$12,36 \pm 0,30$	$15,16 \pm 2,29$		
2	$11,10 \pm 0,77$	$16,00 \pm 2,47$	$11,04 \pm 0,36$	$17,02 \pm 0,81$		
4	$11,83 \pm 0,36$	$16,97 \pm 2,11$	$9,53 \pm 0,19$	$14,14 \pm 1,32$		
8	$11,98 \pm 0,13$	$16,95 \pm 2,15$	$11,86 \pm 0,44$	$15,78 \pm 2,23$		
16	$14,33 \pm 0,24$	$19,70 \pm 2,79$	$13,11 \pm 0,18$	$17,76 \pm 1,39$		
32	$18,24 \pm 0,17$	$21,93 \pm 1,78$	$18,28 \pm 0,18$	$19,19 \pm 2,41$		
64	$26,67 \pm 0,78$	$27,71 \pm 2,90$	$28,08 \pm 0,77$	$26,67 \pm 5,21$		

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Os valores de pH (KCl 1M) obtidos no início e no final do ensaio com *E. andrei* e *E. crypticus* em Nitossolo e Cambissolo com doses de cama de aves C e NC no início do teste e final do teste encontram-se apresentados nas Tabelas 4.3.6 e 4.3.7.

Tabela 4.3. 6 - Valores de pH (KCl 1M) obtidos no início e no final do ensaio com *Eisenia andrei* em Nitossolo Vermelho distroférreo e Cambissolo Húmico alumínico contaminado com doses de cama de aves no início do teste (Dia zero) e final do teste (56 dias após). (C) Cama de aves compostada e (NC) Cama de aves não compostada.

Doses t ha ⁻¹	Nitossolo				Cambissolo			
	Início do teste		Final de 56 dias		Início do teste		Final de 56 dias	
	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC
0	6,44	6,44	6,23	6,23	5,4	5,4	5,5	5,5
2	6,34	5,91	6,15	6,15	5,55	5,51	5,47	5,59
4	6,47	6,23	6,25	6,21	5,61	5,62	5,68	5,52
8	6,56	6,59	6,22	6,09	5,63	5,76	5,44	5,56
16	6,58	6,25	6,41	6,34	6,25	6,16	6,29	6,19
32	6,62	6,64	6,35	6,29	6,3	6,45	6,42	5,85
64	6,68	6,82	6,48	6,44	6,67	6,76	6,45	6,68

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Tabela 4.3. 7 - Valores de pH (KCl 1M) obtidos no início e no final do ensaio com *Enchytraeus crypticus* em Nitossolo Vermelho distroférreo e Cambissolo Húmico alumínico contaminado com doses crescentes de cama de aves no início do teste (Dia zero) e final do teste (28 dias após). (C) Cama de aves compostada e (NC) Cama de aves não compostada.

Doses t ha ⁻¹	Nitossolo				Cambissolo			
	Início do teste		Final de 28 dias		Início do teste		Final de 28 dias	
	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC
0	6,18	6,18	6,29	6,29	5,67	5,67	5,65	5,65
2	6,03	6,43	6,14	6,37	5,82	6,05	5,98	6,22
4	6,43	5,79	6,35	6,53	6,03	6,19	6,39	6,11
8	6,03	5,9	6,38	6,44	6,23	6,2	6,68	5,95
16	6,28	6,78	6,58	6,59	6,3	6,57	6,34	6,09
32	6,36	6,71	6,54	6,78	6,36	6,69	6,71	6,71
64	6,79	6,8	6,97	7,12	6,67	6,9	7,01	6,88

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

4.3.4 Discussão

A adição de cama de aves C e NC em Nitossolo e Cambissolo ocasionou efeitos distintos para as duas espécies estudadas. As minhocas *E. andrei* tiveram o seu potencial reprodutivo reduzido quando expostas a uma alta dose de cama de aves (64 t ha⁻¹) sendo a

magnitude do efeito dependente essencialmente da dose, independente do tipo de cama e solo testado (Figuras 4.3.1AB e 4.3.2AB). Por outro lado, os enquitreídeos *E. crypticus* foram afetados positivamente pela adição do resíduo orgânico em todos os tratamentos avaliados (Figuras 4.3.3AB e 4.3.4AB). Esses resultados confirmam e contestam a primeira hipótese do estudo de que a aplicação de elevadas doses ocasionaria efeitos negativos para as oligochaetas terrestres.

A toxicidade da cama de aves para as minhocas *E. andrei* pode ter sido ocasionada pelas altas concentrações de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ em ambos os solos. Os teores desses compostos encontrados nos solos após adição da maior dose de cama de aves variaram entre 129,16 a 183,26 mg kg⁻¹ de N-NH₄⁺ e 4,12 a 48,8 mg kg⁻¹ de N-NO₃⁻ (Tabela 4.3.4).

O NH₄⁺ é principal forma de N nos dejetos de aves e sob condições de umidade e elevação do pH é convertido em NH₃⁺ (Oviedo-Rondón, 2008; Hachmann et al., 2013), que também pode ser tóxico para as minhocas (LIESCH et al., 2010; DOMINGUEZ e EDWARDS, 2011).

Gunadi et al. (2003) estudando a influência de diferentes níveis de umidade (70, 75, 80, 85 e 90%) sobre crescimento, fecundidade e sobrevivência de minhocas *Eisenia fetida* em dejetos de bovinos e suínos encontrou maior mortalidade e menor número de casulos em dejetos suínos e associou os resultados ao alto teor de NH₄ e NO₃ e baixa relação C/N desse dejetado. Os teores de NH₄⁺ e NO₃⁻ encontrados pelos autores no início do experimento nos dejetos de suínos em todos os teores de umidade foram altos, variando entre 326,1 ± 137,7 a 1094,3 ± 115,9 mg kg⁻¹ de NH₄⁺ e 45,1 ± 6,8 a 114,8 ± 14,6 mg kg⁻¹ de NO₃⁻.

Segat (2016) avaliando os efeitos da aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS) em Cambissolo e Nitossolo encontrou redução no número de indivíduos juvenis de *E. andrei* com o aumento da dose de dejetos nos dois solos avaliados e associou os resultados ao aporte de N no solo via DLS e aos efeitos tóxicos do NH₄⁺.

Em um estudo recente, Renaud et al. (2017) avaliando a toxicidade de diferentes resíduos orgânicos sobre quatro espécies de invertebrados no solo (*Folsomia candida*, *Enchytraeus crypticus*, *Hypoaspis aculeifer*, *E. fetida*) também apontaram os altos teores N-NH₄⁺ (20,179 ± 372,5 mg kg⁻¹) como uma possível causa da toxicidade para os invertebrados do solo.

Os efeitos negativos de alguns fertilizantes como, por exemplo, o sulfato de amônio para as minhocas tem sido relacionado à acidificação do solo (CURRY, 2004). No presente estudo os valores de pH no início e final do teste com *E. andrei* (Tabela 4.3.6) não indicam que isso tenha sido uma possível causa dos efeitos observados. As minhocas não possuem

uma camada de cera (cutícula) para se proteger contra o amônio (Pommeresche et al., 2017), esse fato pode explicar a sensibilidade observada.

A redução significativa no número de juvenis de *E. andrei* na maior dose de cama de aves também pode estar associada ao aumento nas concentrações de Cu e Zn nos solos devido à aplicação da cama de aves (Tabela 4.3.5). Esses micronutrientes são adicionados na dieta das aves como promotores de crescimento e estão presentes em altas quantidades na cama de aves (BOLAN et al., 2010; JAJA et al., 2013). As concentrações desses metais encontradas na dose de efeito significativo (64 t ha^{-1}) para as minhocas *E. andrei*, principalmente no Nitossolo (184 e 142 mg kg^{-1} de Cu e 101 e 75 mg kg^{-1} de Zn, para a cama de aves C e NC, respectivamente) foram bem elevadas e superiores as reportadas por Segat et al. (2015) (15 e 34 mg kg^{-1} de Cu e Zn, respectivamente).

O aumento do número de juvenis de *E. andrei* encontrado em alguns tratamentos com adição das doses mais baixas de cama de aves (Figuras 4.3.1B e 4.3.2AB) pode ser explicado pela adição de matéria orgânica ao solo e maior disponibilidade de recursos alimentares, o que favoreceu a reprodução dos organismos (SEGAT et al., 2015).

Não foram encontradas diferenças significativas entre os valores de CE_{50} obtidos para as camas de aves C e NC (Tabela 4.3.3). Bem como, não foram encontradas diferenças na toxicidade entre os dois solos que pudessem ser associadas às propriedades físico-químicas dos solos (Apêndice A), fato que, contesta a segunda e a terceira hipótese do presente estudo.

A ausência de diferenças de toxicidade entre camas de aves C e NC, pode ser atribuída às semelhanças na composição química das duas camas de aves estudadas (Apêndice B). Os teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- atribuídos como uma das principais causas da toxicidade da cama de aves para as minhocas foram altos na maior dose avaliada (64 t ha^{-1}), tanto nos tratamentos com adição de cama de aves C, como, nos tratamentos com adição de cama de aves NC (Tabela 4.3.4).

Os efeitos semelhantes observados no Nitossolo e Cambissolo podem ser explicados pelas similaridades nas características dos dois solos estudados, em relação à textura e os teores de matéria orgânica (Apêndice A) que são parâmetros que influenciam na disponibilidade de contaminantes para os organismos do solo.

Segat et al. (2015) e Maccari (2014) avaliando os efeitos de dejeto de suínos sobre a sobrevivência e reprodução de minhocas *E. andrei* em solos tropicais e subtropicais com diferentes classes texturais encontraram respostas tóxicas mais elevadas dos dejetos em solos com textura arenosa. Os autores reportam que solos com texturas mais arenosas apresentam menor capacidade de reter os nutrientes e compostos tóxicos adicionados via dejetos animais.

Esses resultados sugerem à necessidade de estudos adicionais com a cama de aves envolvendo outras classes de solos, especialmente mais arenosas para conhecer os riscos potenciais e as doses apropriadas e partir disso elaborar normas relacionadas ao uso agrícola da cama de aves.

Os resultados com *E. crypticus* mostram que a aplicação de elevadas doses cama de aves não ocasionou nenhum efeito letal e/ou subletal para os organismos. Pelo contrário, a adição do resíduo nos solos apresentou um efeito positivo estimulando o potencial reprodutivo dessa espécie (Figuras 4.3.3AB e 4.3.4AB).

A adição do resíduo orgânico no solo pode ter propiciado condições favoráveis para esse organismo, por exemplo, maior teor de matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes em relação ao solo controle, que poderiam explicar o aumento no número de juvenis nos solos tratados.

Esses resultados obtidos também podem estar relacionados à maior tolerância da espécie *E. crypticus* às propriedades do solo, como por exemplo, teores de matéria orgânica variando de 1,2% a 42% e valores de pH de 4,4 a 8,2 (JÄNSCH et al., 2005; KUPERMAN et al., 2006; VAN GESTEL et al., 2011; CASTRO-FERREIRA et al., 2012; VAŠÍČKOVÁ et al., 2015).

A aplicação da cama de aves C e NC como fertilizante orgânico no Nitossolo e Cambissolo quando realizada de acordo com os critérios agronômicos (8 t ha^{-1}) não apresenta efeito tóxico significativo para as duas espécies oligochaetas terrestres. Entretanto, a aplicação de uma elevada dose no solo pode ocasionar toxicidade reduzindo significativamente o potencial reprodutivo da espécie *E. andrei* ($CE_{50} > 40 \text{ t ha}^{-1}$) (Tabela 4.3.3). Esses resultados indicam que, práticas inadequadas de disposição desses dejetos nos solos agrícolas, ou seja, em volumes que excedem a capacidade suporte dos solos podem afetar negativamente as minhocas *E. andrei* e pode resultar em curto e longo prazo em perdas ou redução das funções do solo devido à relação desses organismos com a oferta de serviços ecossistêmicos, ciclagem de nutrientes, pedogênese, manutenção da estrutura física do solo, entre outros.

Os resultados obtidos enfatizam a necessidade da realização de mais estudos incluindo outras espécies de oligochaetas (também espécies nativas) para avaliar os riscos potenciais desse resíduo sobre a biota do solo e para compreender melhor quais os mecanismos que influenciam na toxicidade.

4.3.5 Conclusões

As diferentes espécies de oligochaetas apresentaram respostas distintas à aplicação de cama de aves no Nitossolo e Cambissolo. Os enquitreídeos *E. crypticus* foram afetados positivamente pela adição do resíduo orgânico em todos os tratamentos. Já as minhocas *E. andrei* tiveram o seu potencial reprodutivo reduzido quando expostas a uma alta dose de cama de aves (64 t ha^{-1}). Não foram encontradas diferenças significativas de toxicidade entre as camas de aves compostada (C) e não compostada (NC) e entre os dois solos estudados (Nitossolo e Cambissolo). Não foram verificados efeitos nocivos sobre as oligochaetas quando a cama de aves é aplicada de acordo com os critérios agronômicos (8 t ha^{-1}), mas o risco ecológico não pode ser excluído para maiores quantidades aplicadas e/ou outras classes de solos. Estudos adicionais envolvendo outras espécies de oligochaetas e classes de solos, especialmente mais arenosas, são necessários para avaliar os riscos associados ao uso desse resíduo como fertilizante em áreas agrícolas.

REFERÊNCIAS

AITA, C. et al. Redução na velocidade da nitrificação no solo após aplicação de cama de aviário com dicianodiamida. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 8, p.1387-1392, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório anual 2017**. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/publicacoes/relatorios-anuais>> Acesso em: 12 jul. 2017.

BERNAL, M. P.; ALBUQUERQUE, J. A.; MORAL, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. **Bioresource Technology**, Essex, v. 100, p. 5444-5453, 2009.

BOLAN, N. S. et al. Uses and management of poultry litter. **World's Poultry Science Journal**, Cambridge, v. 66, n. 4, p. 673-698, 2010.

CASTRO-FERREIRA, M. P. et al. *Enchytraeus crypticus* as model species in soil ecotoxicology. **Chemosphere**, Oxford, v. 87, p. 1222-1227, 2012.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2016. 376 p.

CURRY, J. P. Factors affecting the abundance of earthworms in soils. In: EDWARDS, C. A., (Ed.). **Earthworm Ecology**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2004. p. 91-114.

DELGADO, M. et al. Environmental assay on the effect of poultry manure application on soil organisms in agroecosystems. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 416, p. 532-535, 2012.

DOMINGUEZ, J.; EDWARDS, C. A. **Biology and ecology of earthworm species used for vermicomposting**. 2011. Disponível em: < <http://jdguez.webs.uvigo.es/wp-content/uploads/2012/01/Biology-and-Ecology-of-Earthworm-species-used-for-Vermicomposting.pdf> > Acesso em 09 nov. 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

ENVIRONMENT CANADA. **Guidance document: Statistical methods for environmental toxicity tests**. Environmental Protection Series, EPS1/RM/46. Ottawa, ON, 2005.

FONT-PALMA, C. Characterisation, kinetics and modelling of gasification of poultry manure and litter: An overview. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 53, p. 92-98, 2012.

GARCIA, M. V. **Effects of pesticides on soil fauna: Development of ecotoxicological test methods for tropical regions**. 2004. 281p. (Thesis research work). University of Bonn. Germany.

GUNADI, B.; EDWARDS, C. A.; BLOUNT IV, C. The influence of different moisture levels on the growth fecundity and survival of *Eisenia fetida* (Savigny) in cattle and pig manure solids. **European Journal of Soil Biology**, Montrouge, v. 39, p. 19-24, 2003.

HACHMANN, T.L. et al. Resíduos de aves e suínos: Potencialidades. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. Mossoró, v. 8, n. 5, p. 59-65, 2013.

HAHN, L. et al. Persistência de patógenos e do antibiótico salinomicina em pilhas de compostagem de cama de aviário. **Archivos de Zootecnia**, Cordoba, v. 61, n. 234, p. 279-285, 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11268-1**. Soil quality - Effects of pollutants on earthworms (*Eisenia fetida*). Determination of acute toxicity using artificial soil substrate. Geneva, 1993.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11268-2**. Soil quality - Effects of pollutants on earthworms (*Eisenia fetida*). Method for the determination of effects on reproduction. Geneva, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16387**: Soil quality - Effects of pollutants on Enchytraeidae (*Enchytraeus* sp.) - Determination of effects on reproduction and survival. Geneva, 2004.

JAJA, N. et al. Trace metal enrichment and distribution in a poultry litter - amended soil under different tillage practices. **The Open Agriculture Journal**, sl., v. 7, p. 88-95, 2013.

JÄNSCH, S.; AMORIM, M. J.; RÖMBKE, J. Identification of the ecological requirements of important terrestrial ecotoxicological test species. **Environmental Review**, Denver, v. 13, p. 51-83, 2005.

KELLEHER, B. P. et al. Advances in poultry litter disposal technology – a review. **Bioresource Technology**, Essex, v. 83, p. 27-36, 2002.

KUPERMAN, R. G. et al. Toxicity benchmarks for antimony, barium, and beryllium determined using reproduction endpoints for *Folsomia candida*, *Eisenia fetida*, and *Enchytraeus crypticus*. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v. 25, p. 754-762, 2006.

LIESCH, A. M. et al. Impact of two different biochars on earthworm growth and survival. **Annals of Environmental Science**, Boston, v. 4, p. 1-9, 2010.

LOURENÇO, K. S. et al. Crescimento e absorção de nutrientes pelo feijoeiro adubado com cama de aves e fertilizantes minerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 2, p. 462-471, 2013.

MACCARI, A. P. **Avaliação ambiental do uso de dejetos de suínos por meio de ensaios ecotoxicológicos em solos do Estado de Santa Catarina**. 2014. 135 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

MARKOU, G. Improved anaerobic digestion performance and biogas production from poultry litter after lowering its nitrogen content. **Bioresource Technology**, Essex, v. 196, p. 726-730, 2015.

NATAL-DA-LUZ, T. et al. Toxicity to *Eisenia andrei* and *Folsomia candida* of a metal mixture applied to soil directly or via an organic matrix. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 74, p. 1715-1720, 2011.

OVIEDO-RONDÓN, E. O. Tecnologias para mitigar o impacto ambiental da produção de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. esp., p. 239-252, 2008.

POMMERESCHE, R.; LØES, A-K.; TORP, T. Effects of animal manure application on springtails (*Collembola*) in perennial ley. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 110, p. 137-145, 2017.

RENAUD, M. et al. Organic wastes as soil amendments – Effects assessment towards soil invertebrates. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 330, p. 149-156, 2017.

ROGERI, D. A. et al. Composition of poultry litter in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 40, p. 1-7, 2016.

SEGAT, J. C. **Avaliação ecotoxicológica da aplicação de dejeto líquido de suínos em solos subtropicais**. 2016. 304 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

SEGAT, J. C. et al. Ecotoxicological evaluation of swine manure disposal on tropical soils in Brazil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 122, p. 91-97, 2015.

STATISTIC. StatSoft, Inc. (2004). **STATISTICA (data analysis software system)**, version 7. Disponível em: <www.statsoft.com>. Acesso em: 14 abr. 2017.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Background report on fertilizer use, contaminants and regulations**. Protec Agency/Office of Pollution Prevention and Toxics. EPA, 747-R98-003, United States Environmental, p. 365, 1998.

VAN GESTEL, C. A. M. et al. The influence of soil properties on the toxicity of molybdenum to three species of soil invertebrates. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 74, p. 1-9, 2011.

VAŠÍČKOVÁ, J. et al. The variability of standard artificial soils: Effects on the survival and reproduction of springtail (*Folsomia candida*) and potworm (*Enchytraeus crypticus*). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 114, p. 38-43, 2015.

ZORTÉA, T. et al. Toxicidade do cobre em função da correção do pH em dois solos naturais - Uma abordagem com plantas e organismos edáficos. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 17, n. 1, p.1-9, 2016.

4.4 CAPÍTULO IV - EFEITOS DO USO DE CAMA DE AVES SOBRE A FAUNA DO SOLO: UM ESTUDO DE SEMI-CAMPO COM TMES (*TERRESTRIAL MODEL ECOSYSTEMS*) EM SOLO SUBTROPICAL

RESUMO

A fauna edáfica desempenha processos essenciais nos ecossistemas terrestres, incluindo a ciclagem de nutrientes, dinâmica e decomposição da matéria orgânica e é sensível as mudanças no ambiente promovidas por práticas tais como, a adição de resíduos orgânicos. O presente estudo teve por objetivo avaliar os efeitos da aplicação de doses de cama de aves sobre a densidade, atividade e diversidade da fauna do solo por meio de um estudo em condições de semi-campo com *Terrestrial Model Ecosystems* (TMEs). Para o estudo foram utilizados 72 TMEs (amostras inalteradas de solo com altura 40 cm e diâmetro 17,5 cm) coletados em um Nitossolo Vermelho distroférreo. Os tratamentos consistiram em doses de cama de aves (0, 10, 20 e 40 t ha⁻¹), adicionadas aos TMEs e avaliadas em tempos distintos [aos 30 (Tempo 1, T1), 60 (Tempo 2, T2) e 90 (Tempo 3, T3) dias após a aplicação da cama de aves]. Os dados de densidade dos grupos da fauna do solo foram avaliados utilizando as Análises de Componentes Principais (ACP), Permutações Múltiplas (Permanova) e Análise do Percentual de Similaridade (SIMPER). As diferenças ao longo do tempo nas demais variáveis biológicas e químicas mensuradas nos Tempos 1 (T1), 2 (T2) e 3 (T3) foram avaliadas por meio da análise de variância (ANOVA *One-way*) e comparação das médias pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). A aplicação de cama de aves no solo influenciou as respostas da fauna edáfica. Os resultados obtidos na análise de Permanova mostram que a composição da comunidade da fauna do solo foi significativamente afetada no T1 de avaliação pela adição de 40 t ha⁻¹ ($p < 0,05$) de cama de aves. Nos T2 e T3 não houve diferenças na composição da comunidade da fauna do solo em relação aos tratamentos ($p > 0,05$). As ACPs mostraram uma separação dos tratamentos estudados nos três tempos de avaliação. Em todos os tempos a densidade de indivíduos e riqueza de grupos foram maiores no controle e nas doses mais baixas de cama de aves (10 e 20 t ha⁻¹). Por outro lado, atributos como, nitrogênio total, NH₄⁺, NO₃⁻ foram maiores no tratamento com adição de 40 t ha⁻¹ e explicaram a baixa abundância de grupos da fauna nesse tratamento. A aplicação da cama de aves influenciou para a maior ou menor abundância da fauna do solo, dependendo da dose aplicada.

Palavras-chaves: Avaliação do risco ecotoxicológico. Dejeto animal. Mesocosmos. Parâmetros biológicos.

ABSTRACT

Soil fauna plays an essential role in terrestrial ecosystems, including the cycling of nutrients, dynamics and decomposition of organic matter, and it is sensitive to the changes in the environment promoted by practices such as the addition of organic residues. The aim of this study was to evaluate the effects of the application of poultry litter doses on the density, activity and diversity of soil fauna by means of a semi-field study with terrestrial model ecosystems (TMEs). For the study were used 72 TMEs (intact soil samples with 40 cm height and 17.5 cm diameter) collected in a Nitosol. The treatments consisted of poultry litter doses (0, 10, 20 and 40 t ha⁻¹), added to the TMEs and evaluated on time distinct [at 30 (Time 1,

T1), 60 (Time 2, T2) and 90 (Time 3, T3) days after application of the poultry litter]. Edaphic fauna groups density data were evaluated using Principal Component Analysis (PCA), Multiple Permutations and Similarity percentage analysis (SIMPER). The differences over time in the other biological and chemical variables measured at Times 1 (T1), 2 (T2) and 3 (T3) were analysed using a One-wayANOVA, followed by Dunnett's test ($p <0.05$). The application of poultry litter in the soil influenced the responses of edaphic fauna. The results obtained in the Permanova analysis show that the composition of the community of the fauna of the soil was significantly affected in the evaluation T1 by the addition of 40 t ha^{-1} ($p <0.05$) of poultry litter. In T2 and T3, there were no differences in the composition of the fauna community in relation to the treatments ($p > 0.05$). The PCAs showed a separation of the treatments studied in the three evaluation times. At all times the density of individuals and group richness were higher in control and lower doses of poultry litter (10 and 20 t ha^{-1}). On the other hand, attributes such as total nitrogen, NH_4^+ , NO_3^- were higher in the treatment with addition of 40 t ha^{-1} and explained the low abundance of fauna groups in this treatment. The application of the poultry litter influenced to the greater or lesser abundance of the fauna, depending on the applied dose.

Key-words: Ecotoxicological risk assessment. Animal manure. Mesocosms. Biological parameters.

4.4.1 Introdução

A cama de aves consiste em um resíduo composto pela mistura do material utilizado como substrato para cama (maravalha, serragem, palhas, etc), com as excretas das aves, descamações da pele, resíduos de alimento e água desperdiçados durante vários ciclos de produção (HUANG et al., 2015). Esse resíduo orgânico é rico em nutrientes como, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) e por isso é utilizado como fertilizante em áreas agrícolas (MARKOU, 2015; HUANG et al., 2015).

Na região Sul do Brasil, os critérios utilizados para recomendação de doses de cama de aves a serem aplicadas no solo como fertilizante são baseadas na concentração média de macronutrientes, estimada a partir da categoria animal e número de lotes criados sobre a cama de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFSRS/SC, 2016; ROGERI et al., 2016).

No entanto, estudos recentes desenvolvidos em solos dessa região envolvendo outros tipos de resíduos animais (dejetos de suínos), mostram que, a determinação de doses de dejetos baseada apenas análise de parâmetros químicos não fornecem informações suficientes para garantir a aplicação ambientalmente segura desses resíduos no solo e avaliações ecotoxicológicas são sugeridas como métodos complementares para determinar a toxicidade dos dejetos animais e os riscos para o ambiente (SEGAT et al., 2015; MACCARI et al.,

2016). Estudos nesse âmbito envolvendo o uso cama da aves como fertilizante orgânico em solos dessa região não foram encontrados na literatura.

Atualmente, a realização de ensaios padronizados de laboratório com espécies individuais é a abordagem mais simples e usada na avaliação de risco ecotoxicológico (KNACKER et al., 2004; HUGUIER et al., 2015). Entretanto, ao longo dos últimos anos diferentes métodos, entre eles, os ensaios de semi-campo com modelos de ecossistemas terrestres (TMEs, sigla do inglês *Terrestrial Model Ecosystems*), têm sido propostos, testados e utilizados para avaliação dos efeitos de substâncias químicas e resíduos orgânicos em comunidades naturais do solo em um cenário mais real de exposição (KNACKER, et al., 2004; VAN GESTEL, 2012; SEGAT, 2016). Esse método apresenta uma abordagem com maior nível de complexidade e foi desenvolvido para a avaliação dos efeitos ecotoxicológicos em níveis mais altos de organização biológica, ou seja, população, comunidade e ecossistema (WEYERS et al., 2004; KUPERMAN et al., 2009).

Os TMEs podem ser definidos como sistemas controlados e reprodutíveis que buscam simular processos e interações entre componentes podendo fornecer informações mais completas e realísticas que os ensaios de laboratório (GILLETT e WITT, 1980; KNACKER et al., 2004). Os TMEs são caracterizados por amostras de solo com estrutura preservada incluindo a biota nativa (Förster et al., 2009), coletadas a campo, mantidas e testadas em condições controladas de laboratório (KNACKER et al., 2004; WEYERS et al., 2004).

Os ensaios em condições de semi-campo com TMEs são recomendados e utilizados em um nível mais elevado de avaliação de risco, ou seja, quando os resultados dos testes de laboratório com espécies isoladas não foram suficientes para uma conclusão mais holística ou indicam uma preocupação potencial (JÄNSH et al., 2006; MOSER et al., 2007). No presente estudo, os dados obtidos na avaliação ecotoxicológica de risco do uso da cama de aves baseada nos ensaios com espécies individuais em laboratório mostraram que, para um grupo (Capítulo I) a concentração efetiva (CE_{50}) encontrada foi muito similar à dose de cama de aves utilizada a campo com base em recomendações agronômicas (dose média 8 t ha^{-1}) já para outros grupos (Capítulos II e III) essa dose foi superior dependendo dos fatores de avaliação (Outras informações nos capítulos I, II e III). Esses resultados indicam que existe uma preocupação com os ecossistemas terrestres e com a fauna do solo, principalmente quando são utilizadas altas doses de cama de aves, o que em condições práticas é muito comum em solos da região Sul do Brasil. Assim, a fim de determinar os riscos potenciais e reduzir as incertezas relacionadas ao uso desse resíduo orgânico como fertilizante em um cenário mais realístico foi realizado um experimento em condições de semi-campo em TMEs.

Os grupos da fauna do solo foram abordados porque desempenham papéis essenciais nos ecossistemas terrestres, incluindo a ciclagem de nutrientes, dinâmica e decomposição da matéria orgânica, etc, além disso, respondem de forma rápida as mudanças ocorridas no ambiente e por isso tem sido amplamente utilizados como indicadores de qualidade do solo (BARETTA et al., 2011; BROWN et al., 2015).

Compreender como a adição de cama de aves no solo pode afetar a estrutura e o funcionamento das comunidades edáficas em uma escala de tempo é uma questão de extrema importância para o estabelecimento de critérios adequados de aplicação desse resíduo orgânico no solo de forma a garantir a manutenção dos serviços ecossistêmicos e a maior sustentabilidade dos sistemas produtivos. As hipóteses principais do trabalho são: (I) a aplicação de cama de aves no solo pode ocasionar efeitos negativos para os principais grupos da fauna do solo e assim afetar a qualidade do solo; e (II) os efeitos observados serão distintos ao longo do tempo, devido às propriedades que influenciam a disponibilidade de compostos potencialmente perigosos presentes no resíduo orgânico.

O presente estudo teve por objetivo avaliar os efeitos da aplicação de doses de cama de aves sobre a densidade e diversidade da fauna do solo em tempos distintos por meio de um ensaio em condições de semi-campo com TMEs em um solo da região Sul do Brasil.

4.4.2 Material e métodos

4.4.2.1 Cama de aves

A cama de aves utilizada foi à mesma dos ensaios da Etapa 1 (Capítulos I, II e III). Para esse estudo foi utilizada apenas à cama de aves Compostada. Outras informações sobre o histórico e procedimentos de coleta da cama de aves podem ser obtidas no material e métodos geral Item 3.2. As propriedades físico-químicas podem ser visualizadas no Apêndice B da presente Tese.

4.4.2.2 Seleção e caracterização da área de coleta dos TMEs

Baseado nos resultados obtidos na primeira etapa do projeto (dados de CE_{50} obtidos em ensaios em laboratório), para o desenvolvimento desse experimento foi selecionado apenas um dos solos utilizados na Etapa 1, sendo, o Nitossolo Vermelho distroférreo (Nitossolo) (Embrapa, 2006), localizado no município de Concórdia, SC na unidade

experimental da Embrapa Suínos e Aves (Concórdia, SC, 27°31'17.10'' S e 51°99'08.14'' O). A área escolhida estava sendo utilizada para o cultivo de pastagem (*Brachiaria plantaginea*) e não apresentava histórico de uso de resíduos orgânicos, pesticidas e entrada de animais.

As características físico-químicas deste solo foram matéria orgânica de 3,0%, pH (H₂O) 5,5, nitrogênio total 0,27%, fósforo (P) 9,5 mg dm⁻³, potássio (K) 96,0 mg dm⁻³, CTC 10,78 cmol_c dm⁻³, cobre (Cu) 9,5 mg dm⁻³, zinco (Zn) 3,9 mg dm⁻³ (Tedesco et al., 1995), areia 35%, silte 32% e argila 33% apresentando textura franco argiloso (GEE e BAUDER, 1986).

4.4.2.3 Coleta e manutenção dos TMEs

A coleta dos TMEs foi realizada no mês de janeiro de 2016. Antes da extração dos TMEs foi realizado o corte da pastagem em uma altura uniforme de 15 cm do solo. Para o estudo foram coletados 72 TMEs (cada TME considerado uma unidade experimental, com 40 cm de altura e 17,5 cm de diâmetro). A coleta foi realizada com o auxílio de uma retroescavadeira para introduzir e remover o amostrador de aço + tubo de polietileno de alta densidade (PEAD; do inglês *High Density Polyethylene* - HDPE) do solo. Durante o procedimento de coleta, foi tomado o cuidado para que a distância entre o solo e a superfície do tubo fosse semelhante em todos os TMEs. Os tubos em que o solo permanecia abaixo do nível desejável (5 cm da superfície) foram descartados e coletados novamente. Essa distância foi estabelecida em função da aplicação dos tratamentos (volume da cama de aves). Após a coleta, os TMEs foram encaminhados para o laboratório de Ecologia do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias da UDESC em Lages, onde foram alocados aleatoriamente em 6 *carts* móveis. A Figura 4.4.1 mostra um esquema detalhado da coleta, transporte e alocação dos TMEs nos *carts* em laboratório.

Figura 4.4. 1 - Esquema detalhado da coleta e transporte dos TMEs até o laboratório. Vista do amostrador de aço + tubo de PEAD (A); Coleta do TME com o auxílio da retroescavadeira para introduzir e remover o amostrador de aço + tubo de PEAD no solo (B); Vista do amostrador sendo introduzido no solo (C); Vista do TME coletado (D); Transporte até o laboratório (E); Acondicionamento dos TMEs nos *carts* (F).



Fonte: produção do próprio autor, 2018.

No laboratório, os TMEs foram mantidos em um ambiente com condições controladas de temperatura (25 ± 2 °C na superfície e 12 ± 2 °C no interior dos *carts*, gerando um gradiente de temperatura ao longo do perfil do solo) e fotoperíodo (12:12 luz:escuro) por um período de 14 semanas, sendo, a 1^a semana de adaptação ao ambiente e 13 semanas de condução do experimento. Para manutenção da umidade do solo a cada dois dias os TMEs foram regados com 115 mL de solução de chuva artificial (Velthorst, 1993), determinado com base no regime hídrico dos últimos 10 anos da região de coleta dos TMEs, Concórdia, SC.

As condições de manutenção dos TMEs (temperatura do ar e do solo, fotoperíodo, e regime hídrico) foram similares durante todo período de condução do experimento.

4.4.2.4 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos consistiram em doses de cama de aves 0, 10, 20 e 40 t ha⁻¹ (que correspondem a 0, 41, 81 e 162 g de cama de aves por TME respectivamente), aplicadas ao Nitossolo e avaliadas em três tempos distintos (aos 30, 60 e 90 dias após a aplicação da cama de aves). As doses testadas foram definidas com base nos valores de CE₅₀ estimados na Etapa 1 (Capítulos I, II e III). O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado. Para cada tratamento foram utilizadas seis repetições por tempo. O número de repetições foi definido com base no número de TMEs disponíveis. A aplicação da cama de aves foi realizada superficialmente após o período de sete dias de aclimatação.

4.4.2.5 Avaliação dos TMEs e procedimentos de amostragem

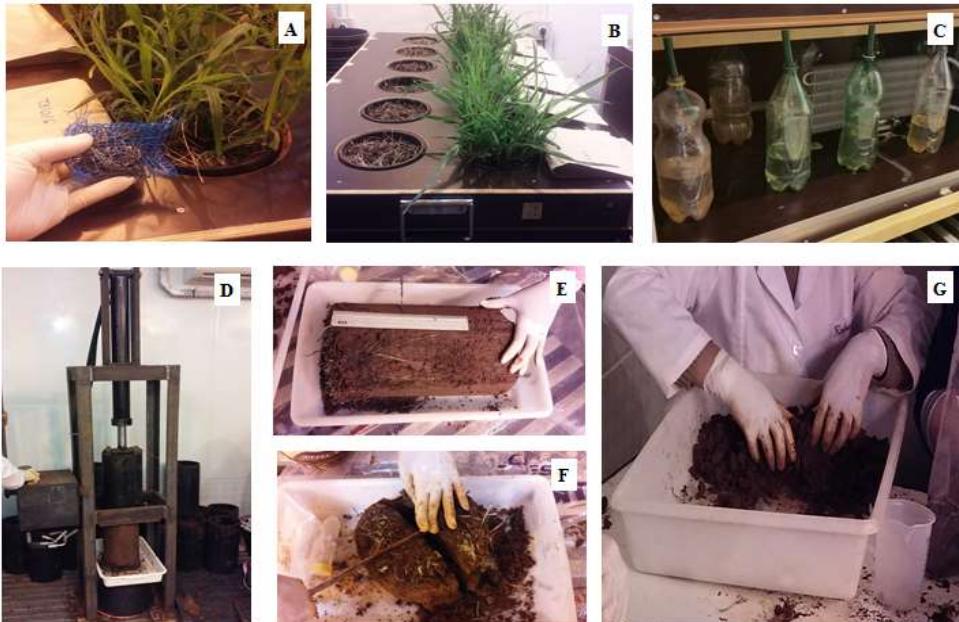
As avaliações foram realizadas em tempos distintos: aos 30, 60 e 90 dias após a aplicação das respectivas doses de cama de aves. Em cada um dos tempos foram desmontados e avaliados 24 TMEs, sendo: seis controles e seis réplicas de cada dose avaliada (10, 20 e 40 t ha⁻¹). Um dia antes da desmontagem dos TMEs foi realizada a retirada dos *litter bags*, o corte da parte aérea da pastagem para estimar a produção de matéria seca e a coleta e armazenamento do lixiviado produzido (Figura 4.4.2ABC). No dia seguinte, os TMEs foram removidos dos *carts* e a amostra de solo retirada do tubo de PEAD e acondicionada em uma bandeja plástica. A amostra de solo foi dividida em três camadas distintas: 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade (Figura 4.4.2DEF), as quais foram utilizadas para a realização das análises dos parâmetros físico-químicos e biológicos conforme descrito a seguir.

A camada superficial (0-10 cm) foi subdividida em quatro porções, onde 2/4 da amostra foram utilizados para avaliação da macrofauna do solo e realização de análises físico-químicas e microbiológicas; 1/4 da amostra foi utilizado para extração dos organismos pertencentes à mesofauna do solo e 1/4 utilizado para contagem de enquistreídeos. Nas camadas de 10-20 e 20-40 cm foram realizadas somente avaliação da macrofauna do solo.

As amostras de solo coletadas para as análises físico-químicas e microbiológicas foram homogeneizadas, peneiradas (malha 2 mm), armazenadas em sacos plásticos previamente identificados e mantidas em baixa temperatura -4 °C até o momento das análises.

A Figura 4.4.2 mostra um esquema detalhado da etapa de desmontagem dos TMEs em cada tempo de avaliação.

Figura 4.4. 2 - Vista com detalhes da etapa de desmontagem dos TMEs em cada tempo. Retirada do *litter bag* do TME (A); Corte da pastagem para estimar a produção de matéria seca (B); Vista da coleta do lixiviado (C); Extração da amostra de solo do tubo de PEAD (D); Amostra com estrutura preservada retirada do tubo de PEAD (E); Camada superficial 0,00-10 cm separada em quatro porções (F); Vista da triagem manual da amostra (G).



Fonte: produção do próprio autor, 2018.

4.4.2.5.1 Parâmetros avaliados

O fluxo de CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) do sistema foi monitorado durante todo o período experimental (90 dias). As avaliações foram realizadas no primeiro dia após a aplicação da cama de aves, aos 3, 5, 7, 9, 11, 14, 17, 20, 35, 50, 65 e 90 dias após a aplicação. Em cada período, foram realizadas duas medições de dois minutos, em três réplicas de cada um dos tratamentos com auxílio do equipamento Licor LI 8100 adaptado para fazer a leitura do diâmetro do tubo (Figura 4.4.3).

Figura 4.4. 3 - Vista da avaliação do fluxo de CO₂ do sistema com o equipamento Licor LI 8100.



Fonte: produção do próprio autor, 2018.

A avaliação da taxa de decomposição do material orgânico foi realizada por meio de *litter bags* (Figura 4.4.2A). A técnica consiste em sacos confeccionados com tela de nylon de 2 mm de abertura, com dimensões de 5x7 cm, onde são adicionados 0,5 g de material orgânico. Os *litter bags* utilizados no experimento foram confeccionados utilizando palha da gramínea existente na área de estudo (*Brachiaria plantaginea*). O material foi coletado previamente, seco em estufa a 55 °C por 48 horas, homogeneizado e cortado em fragmentos menores para facilitar o enchimento dos sacos. No início do experimento (antes da aplicação da cama de aves) foi colocado um *litter bag* na superfície de cada um dos TMEs. Ao final de cada período (após 30, 60 e 90 dias), os *litter bags* foram retirados dos TMEs, acondicionados individualmente em sacos de papel, identificados e transportados para o laboratório. O processamento do material foi realizado com auxílio de uma peneira com malha de 0,5 mm, onde foram separadas partículas da cama de aves e outros detritos. Após a limpeza as amostras foram secas em estufa a 55 °C por 48 horas e pesadas, a diferença entre peso inicial e final do experimento foi atribuída a decomposição.

Para a determinação da produção de matéria seca (MS), as plantas foram cortadas a 1 cm de altura do solo, acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar, a 55 °C, por 72 horas para obtenção da MS (g TME⁻¹). Nos tratamentos do tempo 2 (T2) e 3 (T3) foram realizados dois e três cortes, respectivamente (em intervalos de 30 dias), com o objetivo de simular as condições práticas em nível de campo (pastejo). Para

esses dois tempos, a MS produzida foi expressa pela soma dos valores de MS obtidos em cada corte.

O lixiviado produzido em cada uma das colunas de solo (TME) foi coletado ao final de cada período experimental, quantificado e armazenado em baixa temperatura (-4 °C).

A avaliação da macrofauna edáfica foi realizada para 2/4 da camada superficial do solo (0-10 cm) e para o volume total das demais camadas (10-20 cm e 20-40 cm). A avaliação foi feita por meio da triagem, catação manual e contabilização dos organismos durante a desmontagem dos TMEs. Entretanto, nas camadas de 10-20 e 20-40 cm foram encontrados poucos organismos, assim, para análise estatística dos dados foi realizada a soma dos organismos encontrados nas três camadas (análise independente de camada).

Para avaliação da mesofauna edáfica uma amostra (1/4) da camada superficial de cada TME foi levada ao Funil de Berlese por cinco dias para extração dos organismos. Os indivíduos extraídos foram conservados em álcool etílico para posterior quantificação e identificação com auxílio de um microscópio esteroscópico de aumento 40 vezes.

Para a avaliação de enquitreídeos foram utilizadas 150 g de solo retirado de 1/4 da amostra da camada de 0-10 cm (mesmo volume de solo utilizado em ensaios de laboratório). Para a contagem do número de enquitreídeos, as amostras foram fixadas com álcool (70%), coradas com solução de rosa de bengala (1% em etanol). Passados três dias, cada amostra foi cautelosamente peneirada (250 µm) para separar os enquitreídeos do solo e transferida para uma placa de petry dividida em frações para otimizar a contagem dos indivíduos em uma lupa.

Os dados de meso e macrofauna e enquitreídeos deram origem a uma planilha única de fauna do solo para análise em conjunto. O objetivo do uso destas metodologias não foi comparar os métodos, mas sim coletar o máximo de organismos das amostras.

Para a análise química do solo foram separadas 50 g de solo da camada 0-10 cm de cada TME. Uma subamostra composta por dose e por tempo foi retirada para determinação dos seguintes parâmetros químicos: pH em H₂O, P e K (mg dm⁻³), MO (%), Al, Ca, Mg, H+Al (cmol_c dm⁻³) e CTC pH7,0 (cmol_c dm⁻³), de acordo com metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

O carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) do solo foram analisados no analisador de carbono (multi N/C 2100, Analytik Jena, Alemanha). Para essas análises as amostras de solo (0-10 cm) foram secas a 55 °C por 24 horas, em seguida foram moídas em gral de porcelana e armazenadas em tubos de eppendorfs até o momento das análises.

As concentrações de mineral-N no solo (amônio N-NH₄⁺ e nitrato N-NO₃⁻) foram determinadas de acordo com o método de Tedesco et al. (1995). O N-mineral de cada amostra foi extraído com solução de KCl 1,0 mol L⁻¹. Em seguida uma alíquota de 20 mL foi destilada em aparelho Kjeldahl, para obter as quantidades de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ utilizando 0,2 g de óxido de magnésio (MgO) e 0,2 g de liga de Devarda, respectivamente.

A umidade do solo foi determinada de acordo com o método de Tedesco et al. (1995). Para tanto, foi pesado 10 g de solo da camada superficial (0-10 cm) de cada amostra e secas em estufa a 105 °C, por 24 horas para a determinação da umidade.

O carbono da biomassa microbiana (Cmic) foi determinado pelo método de fumigação-extracção (VANCE et al., 1987). Para cada amostra (TME), foram realizadas seis repetições laboratoriais, sendo três fumigadas e três não fumigadas. A fumigação foi realizada com clorofórmio livre de etanol (CHCl₃). As amostras de solo foram incubadas em um dessecador com as paredes recobertas com papel toalha umedecido e contendo um frasco com 25 mL de CHCl₃ e pérolas de vidro, por um período de 24 horas em 25 °C no vácuo e na ausência de luz. Posteriormente o Cmic foi extraído com sulfato de potássio (K₂SO₄) 0,5 mol L⁻¹ sob agitação por 30 minutos, após 1 hora de decantação as amostras foram filtradas. Em seguida, as amostras foram oxidadas com dicromato de potássio 66,7 mM L⁻¹ (K₂Cr₂O₇) e o teor de C solúvel determinado por titulação com sulfato ferroso amoniacial 33,3 mM L⁻¹ Fe (NH₄)₂(SO₄)₂ 6H₂O na presença do indicador difenilamina (1%).

A atividade microbiana foi avaliada pela determinação da respiração basal (C-CO₂), em 50 g de solo com umidade ajustada para 55% da capacidade de campo. As amostras de solo foram incubadas por 10 dias em um vidro hermético contendo um frasco com 25 mL de solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,5 mol L⁻¹ na ausência de luz e em temperatura de 28 °C. Após 24 horas, o CO₂ captado pela solução de NaOH foi precipitado com solução de cloreto de bário (BaCl₂) 4 mol L⁻¹ e quantificado por meio da titulação com solução de ácido clorídrico (HCl) 0,5 mol L⁻¹ utilizando como indicador fenolftaleína (ALEF e NANNIPIERI, 1995). Os dados obtidos foram analisados a partir do somatório da produção diária de CO₂ (µg C g de solo⁻¹) dos 10 dias de incubação e titulação.

4.4.2.6 Análise estatística

Os dados de densidade dos grupos da fauna do solo obtidos em cada tempo de avaliação foram submetidos à análise de Permutações Múltiplas (Permanova) com base no índice de similaridade de Bray-Curtis, para identificar diferenças estatísticas significativas na

composição da comunidade em relação aos tratamentos. Os resultados que apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) na Permanova foram submetidos à Análise de Similaridade (SIMPER) para avaliar quais grupos da fauna contribuiram para a dissimilaridade observada entre o controle e cada uma das doses de cama de aves testadas. Os grupos apresentados são os que contribuíram acima de 10%. Todas as análises foram realizadas no software PRIMER 6.0 (CLARKE e GORLEY, 2006).

A densidade dos grupos da fauna edáfica foi submetida à Análise de Correspondência Destendenciada (DCA) para obtenção do valor de comprimento do gradiente gerado a partir da matriz de dados, que foi inferior a três (resposta linear). A partir desse resultado optou-se por realizar uma Análise de Componentes Principais (ACP) para avaliação da abundância dos grupos de invertebrados no solo como variável resposta. Para seleção das variáveis ambientais usadas como explicativas (atributos físicos, químicos e microbiológicos) os dados foram submetidos à Análise de Redundância (AR) para identificação das variáveis colineares, além de avaliar a significância com base no teste de permutações de Monte-Carlo. As variáveis que apresentaram colinearidade foram removidas e as que melhor explicaram a variação dos dados foram selecionadas por *forward selection*. Os atributos do solo selecionados nas ARs foram posteriormente plotados nas ACPs como variáveis ambientais explicativas para as respostas da fauna do solo. Todas essas análises foram realizadas no software CANOCO 4.5 (TER BRAAK e SMILAUER, 2002).

Para avaliar se houve diferença nos efeitos ao longo do tempo as variáveis biológicas e químicas mensuradas nos Tempos 1, 2 e 3 foram submetidas à análise de variância (ANOVA *One-way*) e as médias comparadas pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$), utilizando o *software* Statistic 7.0 (STATISTIC, 2004). Os dados utilizados para essa análise foram provenientes da subtração dos resultados obtidos nas amostras tratadas com cama de aves (10, 20 e 40 t ha⁻¹) com os valores dos respectivos controles (0 t ha⁻¹) de cada um dos tempos. Os resultados obtidos para o Tempo 1 foram utilizados como controle na análise para avaliar se os resultados dos Tempos 2 e 3 apresentavam diferenças maiores do que o Tempo 1. Na presente tese serão apresentadas apenas as variáveis avaliadas que apresentam efeito significativo dos tratamentos ao longo do tempo ($p < 0,05$).

4.4.3 Resultados e Discussão

A análise de PERMANOVA do Tempo 1 mostra que a composição da comunidade da fauna do solo foi significativamente afetada pela adição de 40 t ha⁻¹ (Pseudo-F = 2,7892, $p =$

0,001). Os principais grupos da fauna que contribuíram para essa diferenciação foram Formicidae com 19,08%, Enchytraeidae com 17,23% e Chilopoda com 13,22%.

Os grupos Enchytraeidae e Chilopoda foram afetados negativamente pela aplicação da cama de aves, a densidade de indivíduos reduziu no tratamento com adição de 40 t ha⁻¹ quando comparado ao controle (0 t ha⁻¹). Em contrapartida, o grupo Formicidae, apresentou um aumento na densidade de indivíduos no tratamento com adição de 40 t ha⁻¹ em relação ao controle.

Mudanças no uso e manejo do solo podem modificar a estrutura das comunidades de enquitreídeos tanto em termos de abundância populacional total quanto de composição de espécies (PELOSI e RÖMBKE, 2016). No presente estudo, os efeitos observados sobre os enquitreídeos podem estar relacionados ao aumento nos teores de nitrogênio (N) no solo promovido pela adição da cama de aves. A toxicidade do N para os enquitreídeos já foi reportada em solos com aplicação de altas doses de fertilizante orgânico (SEGAT, 2016). Efeitos negativos derivados da aplicação de outros tipos de fertilizantes nitrogenados (nitrato de amônio) sobre a abundância desse grupo de invertebrados do solo também foram encontrados por Lohm et al. (1977).

Os Chilopodas são predadores no solo e camada de serapilheira (Wurst et al., 2012), sendo assim, a redução observada nesse grupo na dose de 40 t ha⁻¹ pode estar relacionada à diminuição na qualidade do ambiente em função da camada espessa de cama de aves que permaneceu na superfície do solo recobrindo toda a serapilheira e devido a redução na disponibilidade de recursos alimentares, como consequência dos efeitos negativos da cama de aves sobre os outros grupos da fauna edáfica.

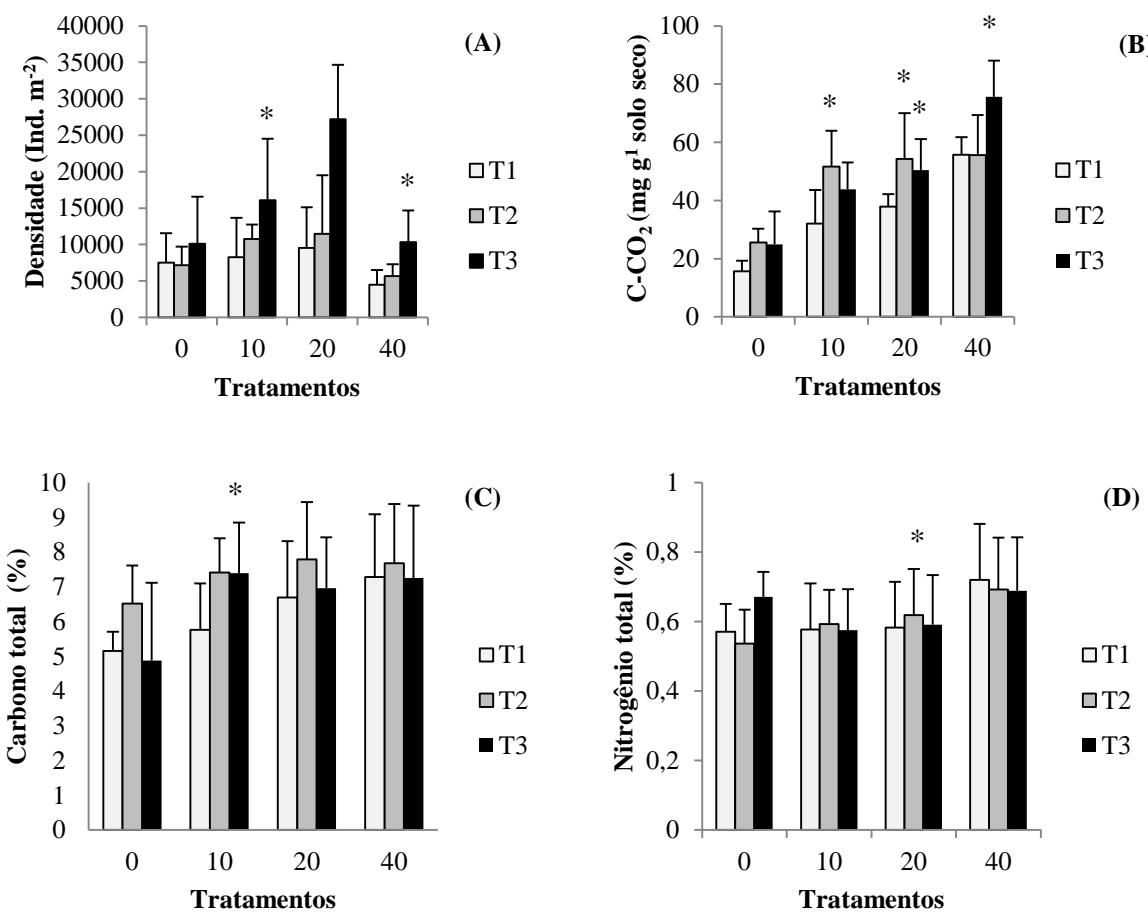
A contribuição do grupo Formicidae para separação dos tratamentos pode ser resultado do elevado número de formigas encontrado em uma das amostras de solo. Esse fato pode estar relacionado à alta variabilidade espacial da fauna na área no momento da coleta dos TMEs. Resultados semelhantes foram reportados por Segat (2016) e a autora associou o fato a amostragem ter sido realizada próxima a um formigueiro. Outros estudos realizados no estado de Santa Catarina destacam a participação das formigas (Formicidae) na separação de tratamentos e a prevalência desse grupo em sistemas de uso do solo com menor impacto antrópico (BARTZ et al., 2014; ROSA, et al., 2015).

Para os Tempos 2 e 3, PERMANOVA mostrou que não houve diferenças na composição da comunidade da fauna do solo em relação aos tratamentos (Pseudo-F = 1,6327, p = 0,05 e Pseudo-F = 1,3774, p = 0,154 para o T2 e T3, respectivamente). Os resultados obtidos no presente estudo indicam que os efeitos negativos da aplicação de uma

alta dose de cama de aves sobre a composição da comunidade da fauna do solo foram maiores nas primeiras semanas após a aplicação e temporários, porque passado um tempo os efeitos não foram mais significativos mostrando que a comunidade conseguiu se restabelecer.

Na Figura 4.4.4 encontram-se apresentados os resultados dos parâmetros biológicos e químicos que apresentam diferenças estatísticas significativas ao longo do tempo no teste de comparação de médias Dunnett 0,05%. As variáveis que apresentaram diferenças entre as doses e o controle maiores nos Tempos 2 e 3 em relação ao Tempo 1 foram, densidade de indivíduos (ind. m^{-2}), produção de C-CO₂, carbono e nitrogênio total.

Figura 4.4. 4 - Avaliação do efeito da aplicação da cama de aves dentro de cada tratamento ao longo do tempo em comparação com o controle no Nitossolo Vermelho distroférreo com doses crescentes de cama de aves 0, 10, 20 e 40 t ha⁻¹. Densidade de indivíduos em cada dose testada (A); Produção acumulada de C-CO₂ (B); Carbono total (C); Nitrogênio total (D). Diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Dunnett.



Fonte: produção do próprio autor, 2018.

A densidade média de indivíduos foi maior nos tratamentos com adição de 10 e 40 t ha⁻¹ no Tempo 3 (Figura 4.4.4A). Resultados semelhantes foram reportados por Geremia et al. (2015) avaliando o efeito de diferentes fontes de adubação em pastagem de Tifton 85

(*Cynodon* spp. cv.) sobre a composição da comunidade edáfica verificaram que o tratamento com adição de fertilizante orgânico a base de cama de aves proporcionou maiores valores de abundância e diversidade da fauna edáfica. A maior densidade observada nesses tratamentos no Tempo 3 também pode estar relacionada ao maior período que os organismos tiveram para se reproduzirem.

A atividade microbiana medida pela produção de C-CO₂ aumentou nos solos com adição de cama de aves e isso se deve a maior quantidade de matéria orgânica e nutrientes adicionados ao solo via dejeto (Figura 4.4.4B). Esses resultados corroboram com outros estudos da literatura que também encontraram maiores quantidades de C-CO₂ em solos com adição de cama de aves em comparação a solos sem aplicação, indicando o efeito positivo da adição desse resíduo orgânico na atividade microbiana (DELGADO et al., 2012).

A quantidade de CO₂ mineralizado apresentou diferenças ao longo do tempo nas três doses avaliadas. Na dose de 10 t ha⁻¹ os valores de C-CO₂ foram maiores no Tempo 2. Na dose de 20 t ha⁻¹ os valores de C-CO₂ aumentaram nos Tempos 2 e 3. Na dose de 40 t ha⁻¹ o C-CO₂ foi maior no Tempo 3 (Figura 4.4.4B).

O aumento nas quantidades de C-CO₂ liberada nos Tempos 2 e 3 quando comparado ao Tempo 1, pode estar relacionada à adaptação inicial da comunidade de organismos a adição da cama de aves ao solo. De acordo com Zortéa et al. (2017), após a comunidade estar estabelecida o processo de mineralização ocorre de forma mais intensa.

Outro fator que pode ter contribuído para o aumento da atividade microbiana verificada nos Tempos 2 e 3 é a maior incorporação por alguns grupos da fauna do solo, como minhocas, enquistreídeos, larvas, da cama de aves no perfil do solo ao longo desse período, proporcionando maior contato do substrato orgânico com os microrganismos.

O aumento da atividade microbiana ao longo do tempo também pode estar relacionado às mudanças que podem ter ocorrido na quantidade, qualidade e disponibilidade de substratos orgânicos para a degradação. A cama de aves utilizada no presente estudo havia sido submetida à compostagem. De acordo com Bernal et al. (2009) a compostagem envolve uma mineralização parcial dos substrato orgânicos determinada pela natureza da matéria orgânica, onde, compostos lábeis (carboidratos simples, aminoácidos, etc.) são degradados rapidamente e outros compostos mais resistentes (celulose hemicelulose e lignina) são parcialmente degradados e em uma taxa mais lenta. A maravalha utilizada como substrato para a cama de aves contém uma quantidade significativa de lignina, um polímero orgânico recalcitrante que inibe o acesso microbiano à celulose e hemi-celulose (KHAN et al., 2014).

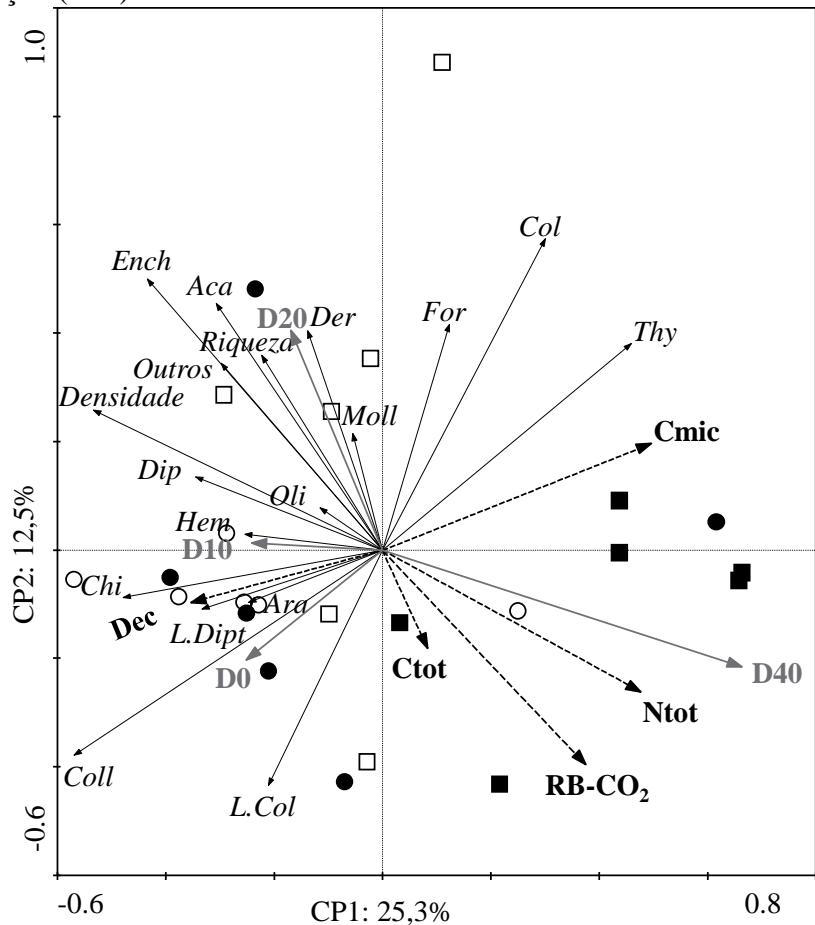
A cama de aves é um resíduo orgânico rico em carbono e nitrogênio (MARKOU, 2015). No presente estudo, o teor de carbono total foi maior na dose de 10 t ha⁻¹ no Tempo 3 (Figura 4.4.4C). E o teor de nitrogênio total foi maior na dose 20 t ha⁻¹ no Tempo 2 (Figura 4.4.4D).

Na Figura 4.4.5 encontra-se apresentada a Análise de Componentes Principais (ACP) do Tempo 1. O primeiro componente principal (CP1) explica 25,3% e o CP2 explica 12,5% da variabilidade entre os tratamentos (doses) estudados, totalizando 37,8% da variabilidade total.

É possível verificar que a maioria dos grupos da fauna edáfica estiveram mais associados ao controle (0 t ha⁻¹) como, larva de Coleoptera, Collembola, larva de Diptera e Araneae e nas doses de 10 t ha⁻¹ de cama de aves como, Chilopoda, Hemiptera, Diplopoda, Oligochaeta e densidade e 20 t ha⁻¹ como, Dermaptera, Mollusca, Acari, Enchytraeidae, Outros e riqueza de grupos. Ainda, a taxa de decomposição ficou mais associada ao controle e a quantidade de 10 t ha⁻¹, em função da presença de larva de Diptera.

O tratamento com adição de 40 t ha⁻¹ de cama de aves ficou separado dos demais tratamentos e não apresentou associação com praticamente nenhum dos grupos da fauna do solo, possivelmente por apresentar maiores valores de nitrogênio total.

Figura 4.4. 5 - Análise de Componentes Principais (ACP) para primeiro tempo de avaliação (T1) para os principais grupos da fauna encontrados e as variáveis ambientais utilizadas como explicativas (**Em negrito**) em Nitossolo Vermelho distroférico com doses de cama de aves: Controle: \circ D0; 10 t ha^{-1} : \bullet D10; 20 t ha^{-1} : \square D20; 40 t ha^{-1} : \blacksquare D40. Acari (Aca), Araneae (Ara), Chilopoda (Chi), Coleoptera (Col), Collembola (Coll), Dermaptera (Der), Densidade (Densidade), Diplopoda (Dip), Enchytraeidae (Ench), Formicidae (For), Hemiptera (Hem), Larva de Coleoptera (L. Col), Larva de Diptera (L. Dipt), Mollusca (Moll), Oligochaeta (Oli), Outros (Outros), Riqueza (Riqueza), Thysanoptera (Thy). Carbono microbiano (Cmic), Carbono total (Ctot), Nitrogênio total (Ntot), Produção acumulada de C-CO_2 (RB-CO₂), Taxa de decomposição (Dec).

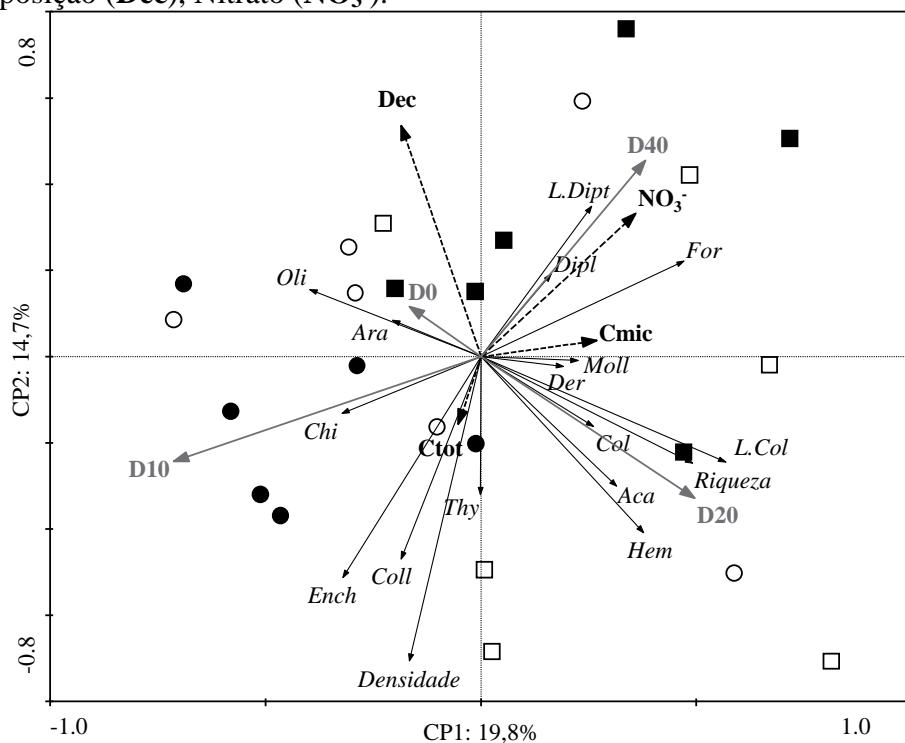


Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Na Figura 4.4.6 encontra-se apresentada a ACP do Tempo 2. O primeiro componente principal (CP1) explica 19,8 % e o CP2 explica 14,7% da variabilidade entre os tratamentos estudados, totalizando 34,5% da variabilidade total. É possível verificar que a maior parte dos grupos da fauna edáfica como Chilopoda, Enchytraeidae, Collembola, Thysanoptera, densidade, estiveram associados aos tratamentos com adição de 10 t ha^{-1} de cama de aves e Coleoptera, larva de Coleoptera Acari, Hemiptera e riqueza de grupos com o tratamento com adição de 20 t ha^{-1} de cama de aves.

Por outro lado, os grupos Oligochaeta e Araneae estiveram mais relacionados ao controle (0 t ha^{-1}). O tratamento com adição de 40 t ha^{-1} apresentou associação com as larvas de Diptera, Diplura e Formicidae, em função do maior teor de NO_3^- .

Figura 4.4. 6 - Análise de Componentes Principais (ACP) para o segundo tempo de avaliação (T2) para os principais grupos da fauna encontrados e as variáveis ambientais utilizadas como explicativas (**Em negrito**) em Nitossolo Vermelho distroférrico com doses de cama de aves: Controle: \circ D0; 10 t ha^{-1} : \bullet D10; 20 t ha^{-1} : \square D20; 40 t ha^{-1} : \blacksquare D40. Acari (Aca), Araneae (Ara), Chilopoda (Chi), Coleoptera (Col), Collembola (Coll), Densidade (Densidade), Dermaptera (Der), Diplura (Dipl), Enchytraeidae (Ench), Formicidae (For), Hemiptera (Hem), Larva de Coleoptera (L. Col), Larva de Diptera (L. Dipt), Mollusca (Moll), Oligochaeta (Oli), Riqueza (Riqueza), Thysanoptera (Thy). Carbono microbiano (Cmic), Carbono total (Ctot), Taxa de decomposição (Dec), Nitrato (NO_3^-).

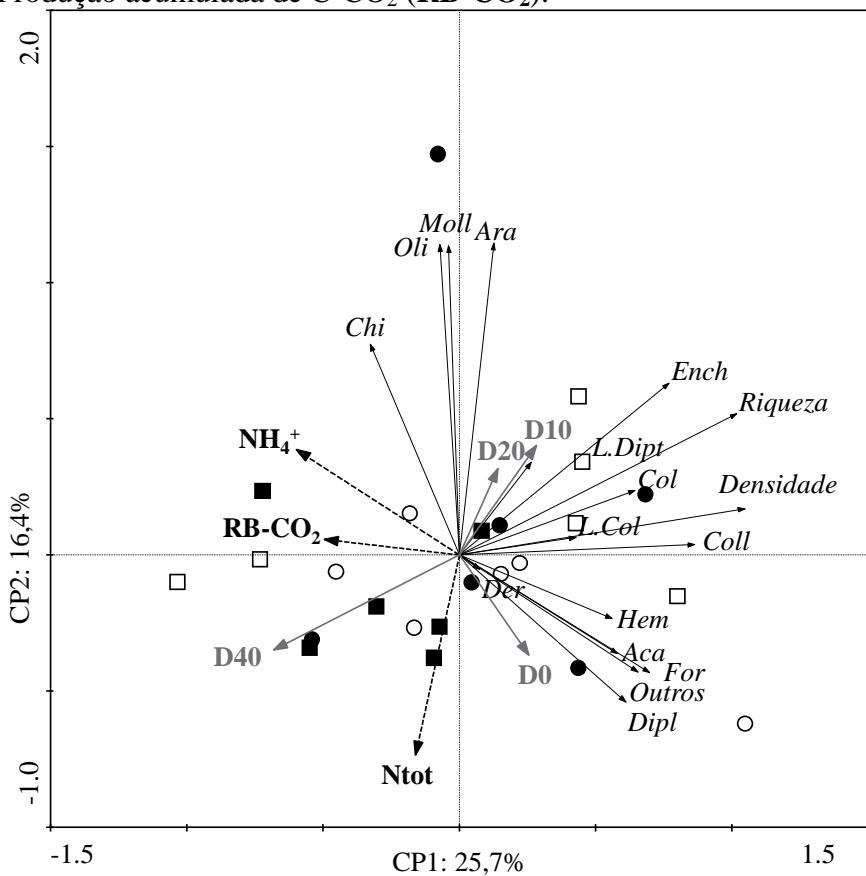


Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Na Figura 4.4.7 encontra-se apresentada a ACP para o Tempo 3. O primeiro componente principal (CP1) explica 25,7% e o segundo (CP2) explica 16,4% da variabilidade entre os tratamentos estudados, totalizando 42,1% da variabilidade total. A maior parte dos grupos da fauna do solo estiveram associados ao controle (Diplura, Formicidae, Acari, Hemiptera e Outros) e os demais grupos aos tratamentos com adição de 10 e 20 t ha^{-1} de cama de aves, sendo que a presença desses grupos não está relacionada com nenhuma variável ambiental explicativa específica. Ao contrário, o tratamento com adição de 40 t ha^{-1} ficou

separado dos demais e não apresentou associação direta com nenhum grupo da fauna, possivelmente em função dos maiores teores de nitrogênio total, NH_4^+ .

Figura 4.4. 7 - Análise de Componentes Principais (ACP) para terceiro tempo de avaliação (T3) para os principais grupos da fauna encontrados e as variáveis ambientais utilizadas como explicativas (**Em negrito**) em Nitossolo Vermelho distroférrego com doses crescentes de cama de aves: Controle: ○ D0; 10 t ha^{-1} : ● D10; 20 t ha^{-1} : □ D20; 40 t ha^{-1} : ■ D40. Acari (Aca), Araneae (Ara), Chilopoda (Chi), Coleoptera (Col), Collembola (Coll), Densidade (Densidade), Dermaptera (Der), Diplura (Dipl), Enchytraeidae (Ench), Formicidae (For), Hemiptera (Hem), Larva de Coleoptera (L. Col), Larva de Diptera (L. Dipt), Mollusca (Moll), Oligochaeta (Oli), Outros (Outros), Riqueza (Riqueza). Amônio (NH_4^+), Nitrogênio total (Ntot), Produção acumulada de C- CO_2 (RB- CO_2).



Fonte: produção do próprio autor, 2018.

De maneira geral os resultados das ACPs mostram que a fauna do solo foi influenciada pela aplicação da cama de aves e isso pode ser observado pela distribuição dos grupos e a maior ou menor associação deles as diferentes doses de cama de aves aplicada no solo (Figuras 4.4.5; 4.4.6 e 4.4.7).

Em todos os tempos a densidade e a riqueza de grupos da fauna do solo estiveram mais associadas ao controle e as doses mais baixas de cama de aves (10 e 20 t ha^{-1}). Por outro lado, atributos como, nitrogênio total, NH_4^+ , NO_3^- apresentaram-se fortemente associados ao

tratamento com adição de 40 t ha⁻¹ o que pode explicar os efeitos sobre a fauna edáfica. Impactos negativos derivados do excesso de nitrogênio e outros compostos derivados, como, amônia (NH₃), NH₄⁺ e NO₃⁻ para diferentes grupos da fauna do solo (Oligochaetas, Collembola e Enchytraeidae) já foram reportados na literatura (GUNADI et al. 2003; LIESCH et al., 2010; DOMINGUEZ e EDWARDS, 2011; MACCARI et al., 2016; SEGAT, 2016).

A associação das larvas de Diptera ao tratamento com adição de 40 t ha⁻¹ no Tempo 2 pode ser resultado do maior acúmulo de material orgânico em decomposição que favoreceu a deposição de ovos por adultos de Diptera e desenvolvimento das larvas (Figura 4.4.6). Esse fato já foi verificado por outros autores após a aplicação de uma alta dose de dejetos de suínos ao solo (BARETTA et al., 2003; ALVES et al., 2008; SEGAT, 2016).

A maior associação dos grupos da fauna aos tratamentos com adição das menores doses de cama de aves (10 e 20 t ha⁻¹) pode ser explicada pelas melhorias no ambiente promovidas pelo aporte de material orgânico no solo aumentando a disponibilidade de alimentos, sem ocorrer toxicidade dos compostos da cama de aves. De acordo com Baretta et al. (2003); Baretta et al. (2011); Geremia et al. (2015), a aplicação de resíduos orgânicos no solo é um fator que pode influenciar positivamente a fauna do solo devido ao fornecimento de recursos alimentares para os organismos edáficos. A abundância de alguns grupos de organismos como, por exemplo, as Oligochaetas no ambiente, está diretamente relacionada com os teores de matéria orgânica do solo (BARETTA et al., 2011).

A decomposição é uma função chave no solo durante a qual os recursos são progressivamente transformados em diferentes componentes pela biota do solo (COCK et al., 2012). A maior associação da taxa de decomposição (Dec) nos Tempos 1 e 2 ao controle (0 t ha⁻¹) e o tratamento com adição de 10 t ha⁻¹ de cama de aves se deve ao fato que nesse tratamento não houve aporte de uma fonte adicional de matéria orgânica no solo, o que promoveu a maior decomposição do material orgânico contido nos *litter bags* (Figuras 4.4.4 e 4.4.5). Esse resultado também pode estar relacionado à maior densidade e diversidade de organismos edáficos nos tratamentos que podem ter contribuído para o processo de decomposição dos resíduos, conforme reportado por Silva et al. (2016).

O uso da cama de aves como fertilizante orgânico em áreas agrícolas e de pastagens é uma prática comum na região do estudo, e os resultados mostram que quando utilizada dentro dos critérios técnicos (dose média de 8 ha⁻¹) a sua aplicação no solo é uma boa alternativa para a reciclagem desse resíduo podendo apresentar efeitos positivos e benéficos para a fauna do solo. Entretanto quando a cama de aves é utilizada em altas dosagens no solo pode afetar

negativamente a fauna edáfica e consequentemente promover mudanças nos processos e serviços ecossistêmicos mediados pelas comunidades edáficas.

4.4.4 Conclusões

A aplicação de doses de cama de aves no solo influenciou nas respostas da fauna edáfica. Os tratamentos com adição de 10 e 20 t ha⁻¹ de cama de aves apresentaram maior densidade dos principais grupos da fauna do solo e esse fato foi associado às melhorias no ambiente promovidas pelo aporte de matéria orgânica e nutrientes fornecido pelos tratamentos. O tratamento com adição de 40 t ha⁻¹ apresentou menor densidade e riqueza de grupos da fauna edáfica o que possivelmente está relacionado aos efeitos tóxicos derivados da maior quantidade N e outros compostos como, NH₄⁺ e NO₃⁻ no solo.

A densidade dos principais grupos da fauna edáfica foi influenciada pela aplicação de doses crescentes e tempo de aplicação de cama de aves na análise ACP, sendo assim, apresenta potencial para ser utilizada como bioindicadora de qualidade do solo e no estudo de interveções antrópicas tais como, a aplicação de resíduos orgânicos no solo.

REFERÊNCIAS

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

ALVES, M. V. et al. Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos e dejetos de suínos no oeste do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 589-598, 2008.

BARETTA, D. et al. Fauna edáfica avaliada por armadilhas de catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 2, n. 2, p.97-106, 2003.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; DE OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (Ed.). **Tópicos especiais em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. p. 141-192.

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**, Fortaleza, v. 45, n.5, p.880-887, 2014.

BERNAL, M. P.; ALBUQUERQUE, J. A.; MORAL, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. **Bioresouce Technology**, Essex, v. 100, p. 5444-5453, 2009.

BROWN, G. G.; NIVA, C. C.; ZAGATO, M. R. G.; FERRREIRA, S. A.; NADOLNY, H. S.; CARDOSO, G. B. X.; SANTOS, G.; SANTOS, A.; MARTINEZ, G. A.; PASINI, A.; BARTZ, M. L. C.; SAUTTER, K. D.; THOMAZINI, M. J.; BARETTA, D.; SILVA, E.; ANTONIOLLI, Z.; DECAËNS, T.; LAVELLE, P. M.; SOUSA, J. P.; CARVALHO, F. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica** [recurso eletrônico]. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 122-154.

CLARKE, K. R.; GORLEY, R. N. **Software Primer v6**. Plymouth: PRIMER-E, UK, 2006.

COCK, M. J. et al. The positive contribution of invertebrates to sustainable agriculture and food security. **CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, United Kingdom, v. 7, n. 043, p. 1-27, 2012.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2016. 376 p.

DELGADO, M. et al. Environmental assay on the effect of poultry manure application on soil organisms in agroecosystems. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 416, p. 532-535, 2012.

DOMINGUEZ, J.; EDWARDS, C. A. **Biology and ecology of earthworm species used for vermicomposting**. 2011. Disponível em: < <http://jdguez.webs.uvigo.es/wp-content/uploads/2012/01/Biology-and-Ecology-of-Earthworm-species-used-for-Vermicomposting.pdf> > Acesso em 09 nov. 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FÖRSTER, B. et al. Tropical terrestrial model ecosystems for evaluation of soil fauna and leaf litter quality effects on litter consumption, soil microbial biomass and plant growth. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n. 8, p.1063-1071, 2009.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: Part 1 - Physical and mineralogical methods**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986, p. 383-411.

GEREMIA, E. V. et al. Fauna edáfica em pastagem perene sob diferentes fontes de nutrientes. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 16, n. 4, p. 17-30, 2015.

GILLETT, J. W.; WITT, J. M. Chemical evaluation: projected application of terrestrial microcosm technology. In: GIESY, J. P. Jr. (Ed.). **Microcosms in ecological research**. Springfield, Virginia, USA: Technical Information Center US Department of Energy, 1980. p. 1008-1033.

GUNADI, B.; EDWARDS, C. A.; BLOUNT IV, C. The influence of different moisture levels on the growth fecundity and survival of *Eisenia fetida* (Savigny) in cattle and pig manure solids. **European Journal of Soil Biology**, Montrouge, v. 39, p. 19-24, 2003.

HUANG, Y. et al. Biochar and renewable energy generation from poultry litter waste: A technical and economic analysis based on computational simulations. **Applied Energy**, London, v. 160, n. 15, p. 656-663, 2015.

HUGUIER, P. et al. The use of soil mites in ecotoxicology: a review. **Ecotoxicology**, sl. v.24, n. 1, p. 1-18, 2015.

JÄNSCH, S. et al. Effects of pesticides on soil invertebrates in model ecosystem and field studies: a review and comparison with laboratory toxicity data. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v. 25, n. 9, p. 2490-2501, 2006.

KHAN, N. et al. Maturity indices in co-composting of chicken manure and sawdust with biochar. **Bioresource Technology**, Essex, v. 168, p. 245-251, 2014.

KNACKER, T. et al. Ring-testing and field validation of a Terrestrial Model Ecosystem (TME) - an instrument for testing potentially harmful substances: conceptual approach and studies design. **Ecotoxicology**, sl., v. 13, p.9-27, 2004.

KUPERMAN, R. G. et al. State of the science and the way forward for the ecotoxicological assessment of contaminated land. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 8, p. 811-824, 2009.

LIESCH, A. M. et al. Impact of two different biochars on earthworm growth and survival. **Annals of Environmental Science**, Boston, v. 4, p. 1-9, 2010.

LOHM, U. et al. Effects of nitrogen fertilization on the abundance of enchytraeids and microarthropods in Scots pine forests. **Studia Forestalia Suecica**. Stockholm, n. 140, p. 1-23, 1977.

MACCARI, A. P. et al. Ecotoxicological effects of pig manure on *Folsomia candida* in subtropical Brazilian soils. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 314, p. 113-120, 2016.

MARKOU, G. Improved anaerobic digestion performance and biogas production from poultry litter after lowering its nitrogen content. **Bioresource Technology**, Essex, v. 196, p. 726-730, 2015.

MOSER, T. et al. The use of the multivariate Principal Response Curve (PRC) for community level analysis: a case study on the effects of carbendazim on enchytraeids in Terrestrial Model Ecosystems (TME). **Ecotoxicology**, sl., v. 16, p. 573-583, 2007.

PELOSI, C.; RÖMBKE, J. Are enchytraeidae (Oligochaeta, Annelida) good indicators of agricultural management practices? **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 100, p. 255-263, 2016.

ROGERI, D. A. et al. Composition of poultry litter in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 40, p. 1-7, 2016.

ROSA, M. G. et al. Macrofauna edáfica e atributos físicos e químicos em sistemas de uso do solo no planalto catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 39, n. 6, p. 1544-1553, 2015.

SEGAT, J. C. **Avaliação ecotoxicológica da aplicação de dejeto líquido de suínos em solos subtropicais**. 2016. 304 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

SEGAT, J. C. et al. Ecotoxicological evaluation of swine manure disposal on tropical soils in Brazil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 122, p. 91-97, 2015.

SILVA, D. M. et al. Effects of pig slurry application on the diversity and activity of soil biota in pasture áreas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.46, n.10, p.1756-1763, 2016.

STATISTIC. StatSoft, Inc. (2004). **STATISTICA (data analysis software system)**, version 7. Disponível em: <www.statsoft.com>. Acesso em: 13 dez. 2018.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

TER BRAAK, C. J. F.; SMILAUER, P. **CANOCO**. Reference manual and CanoDraw for Windows user´s guide: Software for Canonical Comunitiy Ordination, version 4.5. Microcomputer Power, Ithaca, 2002.

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

VAN GESTEL, C. A. M. Soil ecotoxicology: state of the art and future directions. **ZooKeys**, sl., v. 176, p. 275-296, 2012.

VELTHORST, E. J. **Manual for Chemical Water Analysis**. Wageningen: Agricultural University. 1993.

WEYERS, A. et al. Use of terrestrial model ecosystem data in environmental risk assessment for industrial chemicals, biocides and plant protection products in the EU. **Ecotoxicology**, sl., v. 13, 163-176, 2004.

WURST, S.; DE DEYN, G. B.; ORWIN, K. Soil biodiversity and functions. In: WALL, D. H.; BARDGETT, R. D.; BEHAN-PELLETIER, V.; HERRICK, J. E.; JONES, H.; RITZ, K.; SIX, J.; STRONG, D.-R.; VAN DER PUTTEN, W. H.; (Eds.). **Soil ecology and ecosystem services**. Oxford: University Press, Oxford, UK, 2012. p. 81-41.

ZORTÉA, T. et al. Repellent effects of andiroba and copaiba oils against *Musca domestica* (Common House Fly) and ecotoxicological effects on the environment. **Acta Scientiae Veterinariae**, Porto Alegre, v. 45, n. 0, p. 1-8, 2017.

4.5 CAPÍTULO V - AVALIAÇÃO DA FAUNA EDÁFICA EM NITOSSOLO COM E SEM HISTÓRICO DE USO DE CAMA DE AVES EM MODELOS DE ECOSSISTEMAS TERRESTRES

RESUMO

A aplicação sucessiva de cama de aves em áreas agrícolas próximas das unidades de produção é uma prática frequente na região Oeste do estado de Santa Catarina. Entretanto, os impactos dessa prática usual na região sobre a fauna edáfica e os processos do solo ainda são desconhecidos. Para avaliar esses efeitos foi desenvolvido um estudo em modelos de ecossistemas terrestres (TMEs) com o objetivo de comparar uma área sem uso histórico de cama de aves (SH) com uma área com histórico (CH), além dos efeitos da aplicação da cama de aves compostada (C) e não compostada (NC) sobre a fauna do solo. Para o estudo foram selecionadas duas áreas próximas em um Nitossolo Vermelho distroférico, em cada uma foram coletados 32 TMEs (40 cm de altura e 17,5 cm de diâmetro contendo as comunidades naturais do solo), totalizando 64 unidades experimentais. Os tratamentos consistiram na combinação das duas áreas (CH e SH) x uma dose de cama (10 t ha^{-1}) x duas camas de aves (C e NC) x dois tempos de avaliação (30 e 60 dias após a aplicação) x sete repetições por amostra tratada. Os dados de densidade de indivíduos (número de indivíduos m^{-2}) e riqueza de grupos foram submetidos ao teste *t student* ($p < 0,05$). Os dados de densidade dos grupos da fauna do solo foram avaliados utilizando as Análises de Componentes Principais (ACP). O uso histórico promoveu redução na densidade de indivíduos e diversidade de grupos da fauna do solo, sendo os efeitos dependentes do tratamento (cama compostada e não compostada) e do tempo de avaliação. No primeiro período de avaliação (30 dias após a aplicação) o uso histórico não promoveu redução na densidade de indivíduos, apenas na riqueza de grupos no tratamento CHNC. No segundo período de avaliação (60 dias após a aplicação) o uso histórico reduziu a densidade de indivíduos no tratamento CHC e a riqueza de grupos não foi influenciada. A presença dos grupos de fauna do solo foi influenciada pelo uso histórico de cama de aves e pelo tratamento do resíduo (compostagem).

Palavras-chave: Compostagem. Comunidade edáfica nativa. Mesocosmos. Resíduo orgânico.

ABSTRACT

The successive application of poultry litter in agricultural areas near the production units is a frequent practice in the Western region of the state of Santa Catarina. However, the impacts of this usual practice in the region on soil fauna and soil processes are still unknown. In order to evaluate these effects, a study on terrestrial model ecosystems (TMEs) was developed to compare an area without historical use of poultry litter (SH) with a historical use area (CH), in addition to the effects of application poultry litter composted and non composted (NC) on the fauna of the soil. For the study, two near by areas were chosen in a Nitosol, in each one were collected 32 TMEs (40 cm height and 17.5 cm diameter containing natural soil communities), totaling 64 experimental units. The treatments consisted of the combination of the two areas (CH and SH) x one dose (10 t ha^{-1}) x two poultry litter (C and NC) x two evaluation times (30 and 60 days after application) x seven replicates per treated sample. The density of individuals (number of m^{-2} individuals) and richness of groups were submitted to the *student t* test ($p < 0.05$). Edaphic fauna groups density data were evaluated using Principal Component

Analysis (PCA). The historical use promoted to reduction in the density of individuals and diversity of groups of the fauna of the soil, being the effects dependent of the treatment (poultry litter composted and not composted) and the time of evaluation. In the first evaluation period (30 days after application) the historical use did not promote a reduction in the density of individuals, only in the richness of groups in the CHNC treatment. In the second evaluation period (60 days after application) the historical use reduced the density of individuals in the CHC treatment and the wealth of groups was not influenced. The presence of soil fauna groups was influenced by the historical use of poultry litter and the treatment of the residue (composting).

Key-words: Composting. Native edaphic community. Mesocosms. Organic waste.

4.5.1 Introdução

As atividades pecuárias intensivas, entre elas a produção de frangos de corte, geram um volume muito grande de cama (resíduos) que tem como principal forma de descarte a aplicação no solo como fertilizante orgânico em áreas agrícolas, devido o alto teor de nutrientes. Entretanto, em algumas regiões como, por exemplo, no Sul do Brasil, o uso frequente desse material em áreas agrícolas próximas às unidades de produção é uma prática comum, uma vez que a quantidade produzida é superior às áreas disponíveis para aplicação de acordo com os critérios técnicos e o custo econômico não viabiliza o transporte desses resíduos volumosos para longas distâncias (LOURENÇO et al., 2013; ROGERI et al., 2016). Aliado a isso, em muitos casos por questões práticas e/ou econômicas, ao final de vários ciclos de produção das aves, esse resíduo acaba sendo removido dos galpões e aplicado diretamente no solo, sem passar por nenhum tratamento prévio de estabilização (compostagem) antes de sua disposição em áreas agrícolas.

Ao longo das últimas décadas tem crescido notavelmente o interesse da comunidade científica pelas questões ambientais relacionadas à produção animal intensiva nessa região do país, e em especial os impactos sobre a biodiversidade e qualidade do solo. Pesquisas têm sido desenvolvidas com o intuito de avaliar os efeitos derivados do descarte de altas quantidades de dejetos animais sobre parâmetros biológicos do solo, e os resultados mostram que a aplicação sem os critérios adequados pode alterar a abundância e diversidade dos principais grupos de organismos edáficos (ALVES et al., 2008; SEGAT et al., 2015; MACCARI et al., 2016; SEGAT, 2016; SILVA et al., 2016).

Estudos envolvendo o uso da cama de aves como fertilizante orgânico em áreas de pastagens indicam que essa prática pode influenciar a fauna do solo devido ao aporte de material orgânico no sistema (GEREMIA et al., 2015). No entanto, na literatura não foram

encontradas informações no que se refere à dinâmica das comunidades edáficas em solos que receberam aplicação continuada e em longo prazo de cama de aves. Além disso, não se conhecem os riscos para a fauna do solo derivados da aplicação desse resíduo *in natura* sem nenhum tratamento de estabilização (compostagem). Esses aspectos precisam ser estudados para compreender como essa prática pode interferir e modificar, positivamente ou negativamente, a estrutura das comunidades edáficas ao longo do tempo, especialmente em solos da região Sul do Brasil.

A avaliação e proteção da estrutura e funcionamento das comunidades do solo é um fator essencial para a manutenção dos serviços ecossistêmicos (SCHOLZ-STARKE et al., 2013). Dentro desse contexto, os ensaios em modelos ecossistêmicos terrestres (TMEs) têm sido considerados uma ferramenta adequada para avaliar esses efeitos sobre a estrutura das comunidades do solo (SCHÄFFER et al., 2008; SCHOLZ-STARKE et al., 2013; SEGAT, 2016).

Diante do exposto as hipóteses do trabalho são: (I) o uso histórico de cama de aves pode influenciar nas respostas dos principais grupos da fauna do solo e promover redução na sua densidade e diversidade; e (II) o tratamento da cama de aves (compostagem) é um fator que pode influenciar nas respostas da fauna do solo; e (III) os efeitos observados serão distintos ao longo do tempo, devido a fatores que influenciam a disponibilidade de compostos potencialmente perigosos presentes na matriz orgânica (cama de aves).

Para avaliar esses pressupostos foi desenvolvido um estudo em Modelos de Ecossistemas Terrestres (TMEs) com o objetivo de comparar uma área sem uso histórico de cama de aves e uma área com histórico, além dos efeitos da aplicação da cama de aves compostada e não compostada sobre os grupos da fauna edáfica em tempos distintos após a aplicação.

4.5.2 Material e métodos

4.5.2.1 Cama de aves

A cama de aves utilizada para o estudo foi proveniente de uma granja com produção comercial de frangos de corte localizada na região Sul do Brasil. O material foi o mesmo utilizado para os ensaios da Etapa 1 (Capítulos I, II e III). Outras informações sobre o histórico da cama de aves e procedimentos de coleta podem ser obtidas no material e métodos

geral Item 3.2. As características físico-químicas podem ser visualizadas no Apêndice B da presente Tese.

4.5.2.2 Seleção e caracterização das áreas

Para o estudo, foram selecionadas duas áreas próximas (para reduzir a variabilidade de clima, relevo e tipo de solo), localizadas no município de Concórdia, SC. A área sem histórico (SH) localizada na área experimental da Embrapa Suínos e Aves. No período da coleta dos TMEs, a área estava sendo utilizada para o cultivo de pastagem (*Brachiaria plantaginea*) e não apresentava histórico de uso de resíduos orgânicos, pesticidas e entrada de animais. A área com histórico (CH) se localizava em uma propriedade rural e apresentava 30 anos de uso da cama de aves como fertilizante. No período da coleta dos TMEs, essa área estava sendo utilizada para o cultivo de milho (*Zea mays*). O solo de ambas as áreas estudadas foi classificado como Nitossolo Vermelho distroférrico (EMBRAPA, 2006). Os parâmetros físico-químicos destes solos são apresentados na Tabela 4.5.1.

Tabela 4.5. 1 - Parâmetros químicos e físicos do Nitossolo Vermelho distroférrico com histórico de uso de cama de aves (CH) e sem uso histórico de cama de aves (SH) avaliado na camada de 0,00-0,20 m.

Parâmetros	Com histórico	Sem histórico
MO ¹ (%)	2,92	3,0
pH (H ₂ O)	6,2	5,5
P (mg dm ⁻³)	66,73	9,5
K (mg dm ⁻³)	497	96,0
Ca (cmol _c dm ⁻³)	13,0	5,0
Mg (cmol _c dm ⁻³)	3,0	2,0
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,0	0,0
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	3,88	3,47
CTC ³ (cmol _c dm ⁻³)	21,56	10,78
Cu (mg dm ⁻³)	24,10	9,5
Zn (mg dm ⁻³)	21,6	3,9
Fe (mg dm ⁻³)	71,5	4,2
Mn (mg dm ⁻³)	0,38	8,9
Argila (%)	36	45

MO¹ – Matéria Orgânica; Nt² – Nitrogênio total; CTC³ – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0.
Fonte: produção do próprio autor, 2018.

4.5.2.3 Coleta e manutenção dos TMEs

A coleta dos TMEs foi realizada no mês de maio de 2016. Em cada uma das áreas avaliadas (CH e SH) foram coletados 32 TMEs (cada TME considerado uma unidade experimental com 40 cm de altura e 17,5 cm de diâmetro), totalizando 64 unidades experimentais. A coleta foi realizada com o auxílio de uma retroescavadeira para introduzir e remover o amostrador de aço + tubo de polietileno de alta densidade (PEAD; do inglês *High-Density Polyethylene* - HDPE) do solo. Durante o procedimento de coleta, foi tomado o cuidado para que a distância entre o solo e a superfície do tubo fosse semelhante em todos os TMEs. Os tubos em que o solo permanecia abaixo do nível desejável (5 cm da superfície) foram descartados e coletados novamente. Essa distância foi estabelecida em função da aplicação dos tratamentos (volume de cama de aves aplicada). Após a coleta, os TMEs foram encaminhados para o laboratório de Ecologia do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias da UDESC em Lages, onde foram alocados aleatoriamente em 6 *carts* móveis e mantidos em câmara de crescimento climatizada equipada com um sistema de iluminação para plantas C₃ e C₄, com temperatura (20 ± 2°C na superfície e 12 ± 2°C no interior dos *carts*) e fotoperíodo (10:14 luz:escuro) controlados.

Para manutenção da umidade do solo a cada dois dias os TMEs foram regados com 115 mL de solução de chuva artificial (Velthorst, 1993) determinado com base no regime hídrico dos últimos 10 anos da região de coleta dos TMES, Concórdia, SC.

Os TMEs foram mantidos nos *carts* durante sete dias para aclimatação. Nesse período foi realizada a semeadura de aveia branca (*Avena sativa*). Em cada tubo foram semeadas 25 sementes. Após a germinação para fins de padronização para medida da matéria seca da parte aérea das plantas foram mantidas apenas 10 plantas em cada TME. A aplicação da cama de aves foi realizada após sete dias de aclimatação (Figura 4.5.1).

As condições de manutenção dos TMEs (temperatura do ar e do solo, fotoperíodo, e regime hídrico) foram similares durante todo período de condução do experimento.

Figura 4.5. 1 - Vista dos TMEs no período de aclimatação (A); Aveia (*Avena sativa*) (B); Aplicação da cama de aves (C); Tratamento após a aplicação da cama de aves (D); Vista geral do experimento aos 30 dias após a aplicação da cama (E).



Fonte: produção do próprio autor, 2018.

4.5.2.4 Tratamentos

Os tratamentos consistiram na combinação de: duas áreas (CH e SH) x uma dose de cama de aves (10 t ha^{-1}) similar à recomendada, de acordo com o Manual da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS, RS/SC, 2016) x duas camas de aves (C e NC) x dois tempos de avaliação (30 e 60 dias após a aplicação da cama) x sete repetições = 56 TMEs + 8 TMEs controle (duas repetições por área e tempo).

4.5.2.5 Avaliação dos TMEs e procedimentos de amostragem

As avaliações foram realizadas em dois tempos: aos 30 e 60 dias após a aplicação da cama de aves. Em cada um dos tempos foram desmontados 32 TMEs, sendo: dois controles por área (CH e SH) e sete réplicas de cada tratamento avaliado.

Um dia antes da desmontagem dos TMEs foi realizado o corte da parte aérea da pastagem para estimar a produção de matéria seca e a coleta e armazenamento do lixiviado produzido. No dia seguinte, os TMEs foram removidos dos *carts* e a desmontagem foi realizada na seguinte ordem: primeiro nos tubos controle da área SH, seguido pelos tubos da área SH com cama de aves e após a limpeza das bandejas os tubos controles da área CH,

seguido dos tubos da área CH com cama para evitar uma possível contaminação das amostras de solo. A amostra de solo foi retirada do tubo de PEAD e acondicionada em uma bandeja plástica, em seguida foi dividida em três camadas distintas: 0-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade, as quais foram utilizadas para a realização das análises dos parâmetros físico-químicos e biológicos conforme descrito a seguir.

A camada superficial (0-10 cm) foi subdividida em quatro porções, onde 2/4 da amostra foram utilizados para avaliação da macrofauna do solo e realização de análises físico-químicas e microbiológicas; 1/4 da amostra foi utilizado para extração dos organismos pertencentes à mesofauna do solo (Funil de Berlese); e 1/4 foi encaminhado para uma taxonomista para contagem e identificação de espécies de enquitreídeos (dados de enquitreídeos não apresentados na presente Tese e fará parte de um artigo específico). Nas camadas de 10-20 e 20-40 cm foram realizadas avaliações da macrofauna do solo.

As amostras de solo coletadas para as análises físico-químicas e microbiológicas foram homogeneizadas, peneiradas (2 mm), armazenadas em sacos plásticos previamente identificados e mantidas em baixa temperatura -4 °C até o momento das análises.

4.5.2.5.1 *Parâmetros avaliados*

Ao final de cada período experimental foi realizada a coleta, quantificação e armazenamento em baixa temperatura (-4 °C) do lixiviado gerado em cada coluna de solo (TME).

A produção de matéria seca (MS) da parte aérea foi determinada de acordo com Tedesco (1995). As plantas foram cortadas a 2 cm de altura do solo, acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar, a 55 °C, por 72 horas para obtenção da MS (g TME^{-1}). Nos tratamentos do tempo 2, foi realizado um corte da pastagem aos 30 dias após a aplicação da cama de aves, com o objetivo de simular as condições práticas em nível de campo (pastejo). Sendo assim, para os tratamentos desse tempo, a MS produzida foi expressa pela soma dos valores de MS obtidos nos dois cortes (aos 30 e 60 dias).

A avaliação da macrofauna edáfica foi realizada para 2/4 da camada superficial do solo (0-10 cm) e para o volume total das demais camadas (10-20 e 20-40 cm). A avaliação foi feita por meio da triagem, catação manual e contabilização dos organismos durante a desmontagem dos TMEs. Entretanto, nas camadas de 10-20 e 20-40 cm foram encontrados poucos organismos, assim, para análise estatística dos dados foi realizada a soma dos organismos encontrados nas três camadas (análise independente de camada).

Para avaliação da mesofauna edáfica foi utilizada uma amostra ($\frac{1}{4}$) da camada superficial (0-10 cm) de cada TMEs. A extração dos organismos foi feita pelo método de Berlese. Após a extração, os organismos foram conservados em álcool para posterior quantificação e identificação com auxílio de uma lupa binocular de aumento 40 vezes.

A umidade do solo foi determinada de acordo com o método de Tedesco et al. (1995). Para tanto, foi pesado 10 g de solo da camada superficial (0-10 cm) de cada amostra, seca em estufa a 105 °C, por 24 horas.

Para a análise química do solo foram separadas 50 g de solo da camada 0-10 cm de cada TME. Uma subamostra composta por dose e por tempo foi retirada para determinação dos seguintes parâmetros químicos do solo: pH em H₂O, P e K (mg/dm³), MO (%), Al, Ca, Mg, H+Al (cmol_c/dm³) e CTC pH7,0 (cmol_c dm³) de acordo com metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

O carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) do solo foram analisados no analisador de carbono (multi N/C 2100, Analytik Jena, Alemanha). Para essas análises as amostras de solo (0-10 cm) foram secas a 55 °C por 24 horas, em seguida foram moídas em gral de porcelana e armazenadas em tubos tipo eppendorfs até o momento das análises.

As concentrações de mineral-N no solo (amônio N-NH₄⁺ e nitrato N-NO₃⁻) foram determinadas de acordo com o método de Tedesco et al. (1995). O N-mineral de cada amostra foi extraído com solução de KCl 1,0 mol L⁻¹. Em seguida uma alíquota de 20 mL foi destilada em aparelho Kjeldahl, para obter as quantidades de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ utilizando 0,2 g de óxido de magnésio (MgO) e 0,2 g de liga de Devarda, respectivamente.

O carbono da biomassa microbiana (Cmic) foi determinado pelo método de fumigação-extração (VANCE et al., 1987). Para cada amostra (TME) foram realizadas seis repetições laboratoriais, sendo três fumigadas e três não fumigadas. A fumigação foi realizada com clorofórmio livre de etanol (CHCl₃). As amostras de solo foram incubadas em um dessecador com as paredes recobertas com papel toalha umedecido e contendo um frasco com 25 mL de CHCl₃ e pérolas de vidro, por um período de 24 horas em 25 °C no vácuo e na ausência de luz. Posteriormente o Cmic foi extraído com sulfato de potássio (K₂SO₄) 0,5 mol L⁻¹ sob agitação por 30 minutos, após 1 hora de decantação as amostras foram filtradas. Em seguida, as amostras foram oxidadas com dicromato de potássio 66,7 mM L⁻¹ (K₂Cr₂O₇) e o teor de C solúvel determinado por titulação com sulfato ferroso amoniacial 33,3 mM L⁻¹ Fe (NH₄)₂(SO₄)₂ 6H₂O na presença do indicador difenilamina (1%).

A atividade microbiana foi avaliada pela determinação da respiração basal (C-CO₂), em 50 g de solo com umidade ajustada para 55% da capacidade de campo. As amostras de

solo foram incubadas por 10 dias em um recipiente de vidro hermético contendo um frasco com 25 mL de solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,5 mol L⁻¹ na ausência de luz e em temperatura de 28 °C. Após 24 horas, o CO₂ captado pela solução de NaOH foi precipitado com solução de cloreto de bário (BaCl₂) 4 mol L⁻¹ e quantificado por meio da titulação com solução de ácido clorídrico (HCl) 0,5 mol L⁻¹ utilizando como indicador fenolftaleína (ALEF e NANNIPIERI, 1995). Os dados obtidos foram analisados a partir do somatório da produção diária de CO₂ (μg C g de solo⁻¹) dos 10 dias de incubação e titulação.

4.5.2.6 *Análise estatística*

Os dados de densidade de indivíduos (número de indivíduos m⁻²) e riqueza de grupos foram submetidos ao teste *t student* ($p < 0,05$) para avaliar se houve diferenças entre as áreas SH e CH (STATISTIC, 2004). Os dados utilizados para essa análise foram provenientes da subtração dos resultados obtidos para áreas SH e CH tratadas com cama de aves C e NC com os valores dos respectivos controles de cada um dos tratamentos e tempos. As comparações entre áreas SH e CH foram feitas separadamente para cada tratamento onde foram comparadas CHC x SHC para os Tempos 1 e 2 e CHNC x SHNC para os Tempos 1 e 2.

A densidade dos grupos da fauna edáfica foi submetida à Análise de Correspondência Destendenciada (DCA) para obtenção do valor de comprimento do gradiente gerado a partir da matriz de dados, que foi inferior a três (resposta linear). A partir desse resultado optou-se por realizar uma Análise de Componentes Principais (ACP) para avaliação da densidade dos grupos de invertebrados no solo como variável resposta. Para seleção das variáveis ambientais usadas como explicativas os dados foram submetidos à Análise de Redundância (AR) para identificação das variáveis colineares, além de avaliar a significância com base no teste de permutações de Monte-Carlo. As variáveis que apresentaram colinearidade foram removidas, e as que melhor explicaram a variação dos dados foram selecionadas por *forward selection*. Os atributos químicos (carbono total, nitrogênio total, NH₄⁺, NO₃⁻), físicos (umidade), microbiológicos (carbono microbiano e C-CO₂), taxa de decomposição e matéria seca da pastagem selecionados nas ARs foram plotados nas ACPs como variáveis ambientais explicativas para as respostas da fauna do solo. As análises foram realizadas no software CANOCO 4.5 (TER BRAAK e SMILAUER, 2002).

4.5.3 Resultados e Discussão

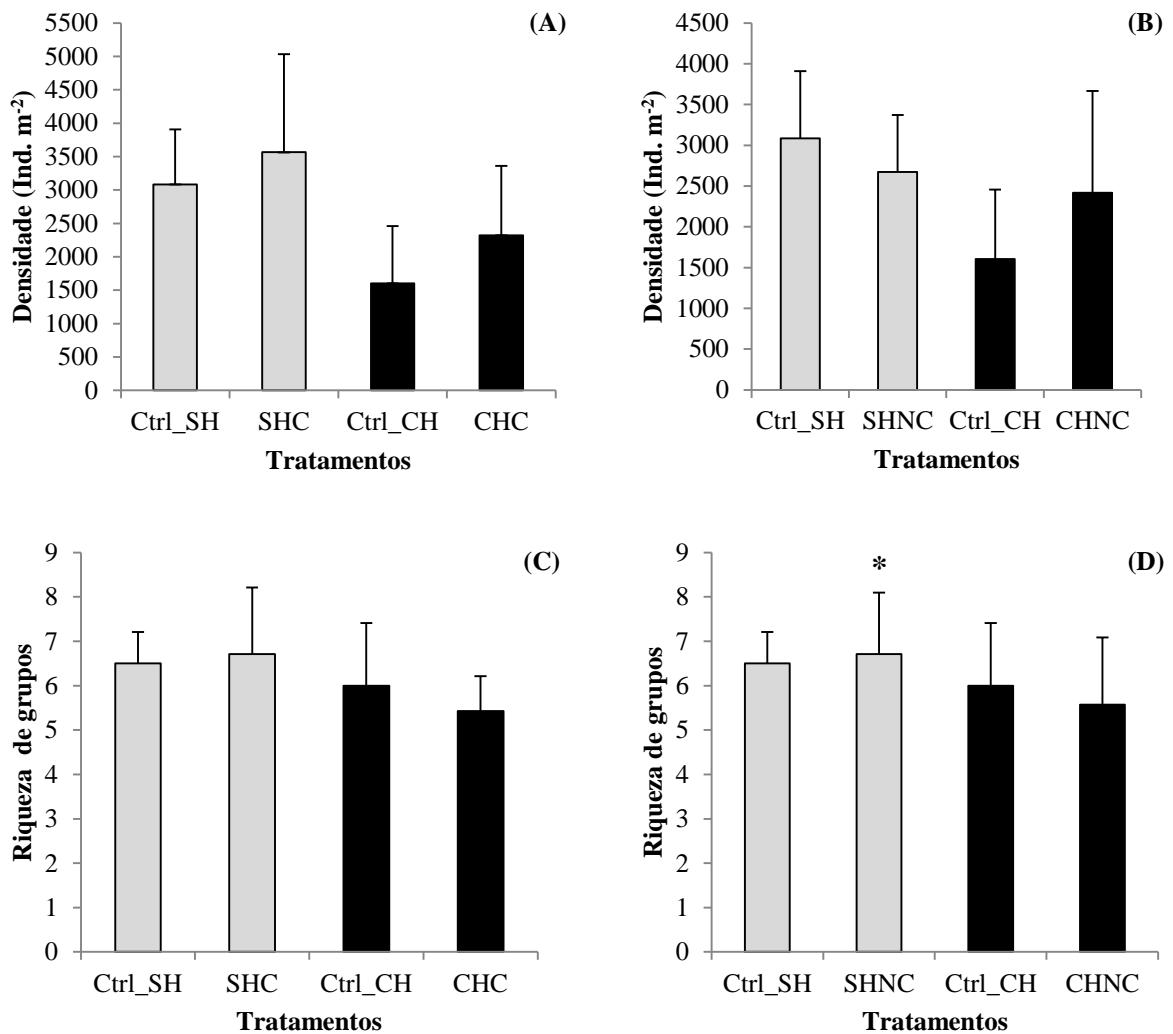
A apresentação dos resultados obtidos nesse experimento foi separada em dois subtópicos para responder as hipóteses testadas: (1) Comparação entre as áreas SH x CH para conhecer o efeito do uso histórico da cama de aves sobre as respostas da fauna do solo ao longo do tempo; e (2) Comparação entre as camas de aves C e NC para avaliar a influencia do tratamento de compostagem da cama de aves sobre as respostas da fauna do solo.

4.5.3.1 Avaliação do efeito do histórico de uso da cama de aves

A fauna do solo foi influenciada pelo uso histórico de cama de aves. Analisando individualmente os tratamentos (CHC x SHC e CHNC x SHNC em cada tempo de avaliação) verifica-se que o uso histórico ocasionou redução na densidade de indivíduos e riqueza de grupos da fauna do solo em alguns tratamentos.

No primeiro tempo de avaliação verifica-se que não houve diferenças significativas na densidade de indíviduos entre as áreas CH e SH de uso, independente do tipo de cama de aves aplicada (C ou NC) (Figuras 4.5.2A e 4.5.2B). Entretanto, a riqueza de grupos na área sem histórico com adição de cama de aves não compostada (SHNC) foi maior quando comparada a área CHNC (Figura 4.5.2D).

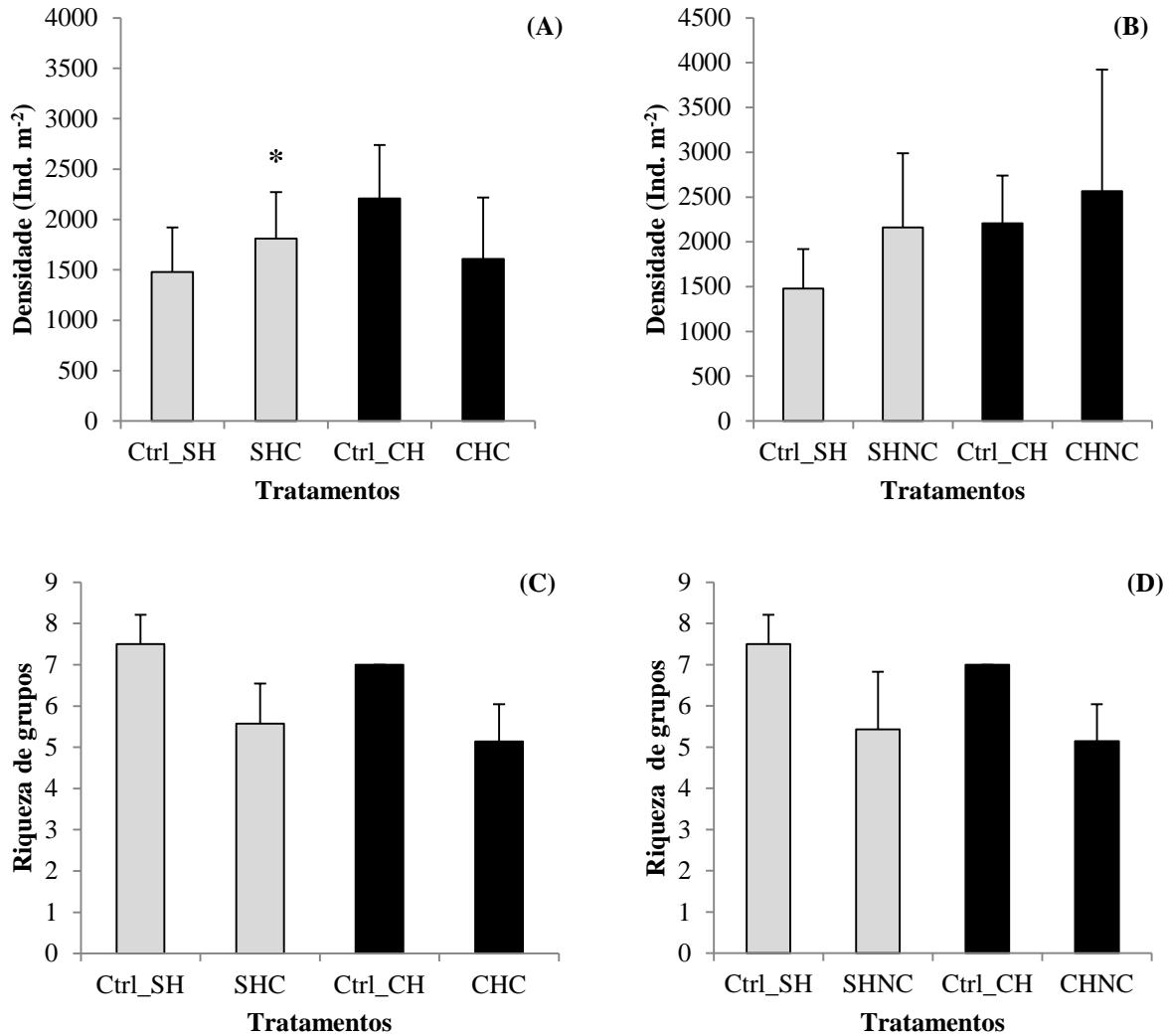
Figura 4.5. 2 - Comparação dos efeitos entre as áreas sem uso histórico [SH] e com uso histórico [CH] de cama de aves no primeiro tempo de avaliação. Densidade de indivíduos (Ind. m^{-2}) tratamentos com adição de cama de aves compostada [C] (A); Densidade de indivíduos (m^{-2}) tratamentos com adição de cama de aves não compostada [NC] (B); Riqueza de grupos tratamentos com adição de cama de aves compostada [C] (C); Riqueza de grupos tratamentos com adição de cama de aves não compostada [NC] (D); * Diferenças significativas entre as áreas SH e CH de acordo com teste *t student* ($p < 0,05$).



Fonte: produção do próprio autor, 2018.

No segundo tempo de avaliação a densidade de indivíduos encontrada no tratamento área sem histórico com adição de cama compostada (SHC) foi maior quando comparada a área CHC (Figura 4.5.3A). Nesse período de avaliação, a riqueza de grupos não apresentou diferenças significativas entre as áreas, independente do tipo de cama de aves aplicada (C ou NC) (Figura 4.5.3C e 4.5.3D).

Figura 4.5. 3 - Comparação dos efeitos entre as áreas sem uso histórico [SH] e com uso histórico [CH] de cama de aves no segundo tempo de avaliação. Densidade de indivíduos (Ind. m^{-2}) tratamentos com adição de cama de aves compostada [C] (A); Densidade de indivíduos (Ind. m^{-2}) tratamentos com adição de cama de aves não compostada [NC] (B); Riqueza de grupos tratamentos com adição de cama de aves compostada [C] (C); Riqueza de grupos tratamentos com adição de cama de aves não compostada [NC] (D); * Diferenças significativas entre as áreas SH e CH de acordo com teste *t student* ($p < 0,05$).



Fonte: produção do próprio autor, 2018.

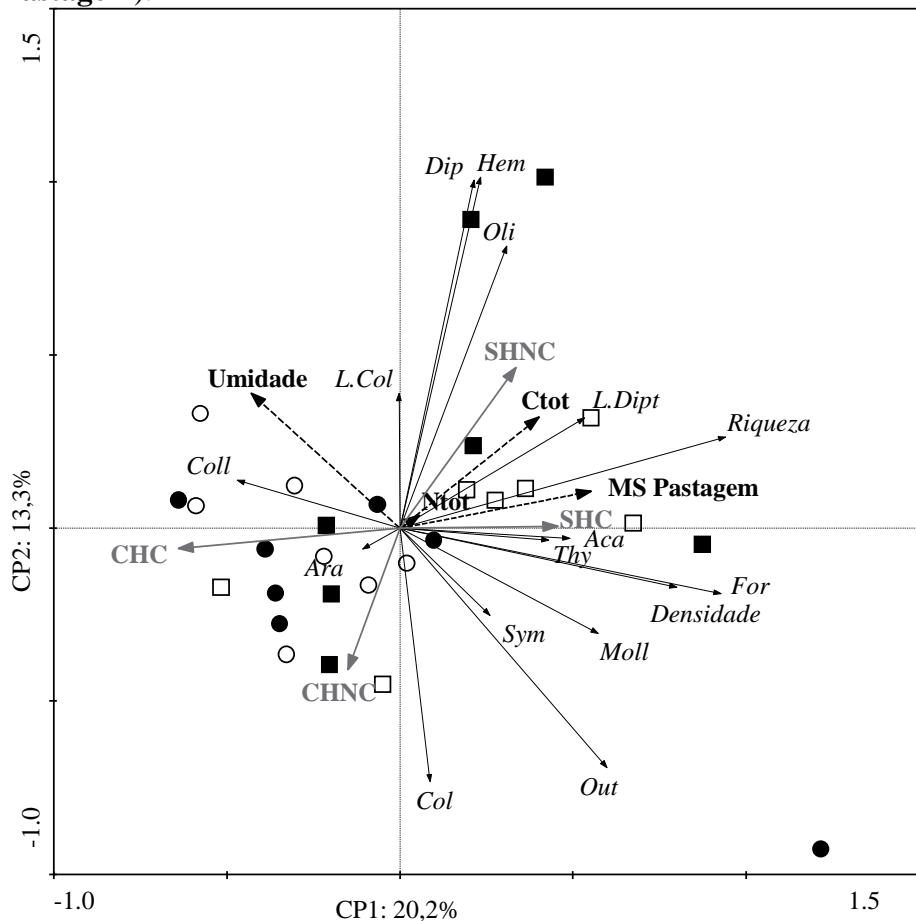
O efeito do uso histórico de dejeto líquido de suínos (DLS) como fertilizante em áreas de Integração Lavoura-Pecuária sobre a fauna do solo foi estudado por Segat (2016), a autora verificou que o uso histórico de DLS promove a presença de grupos de organismos mais adaptados à fertilização com esse resíduo. É possível verificar que os efeitos do histórico da aplicação de dejetos animais para a fauna do solo apresentam relação com tipo e as características dos dejetos animais.

A Análise de Componentes Principais (ACP) mostrou uma separação entre os dois tratamentos CH e SH através da relação entre a componente principal 1 (CP1) e a componente principal 2 (CP2), no Tempo 1 (Figura 4.5.4) e Tempo 2 de avaliação (Figura 4.5.5).

Na ACP do Tempo 1 a primeira componente principal (CP1) explica 20,2% e a segunda componente (CP2) explica 13,3% da variabilidade entre os tratamentos estudados, totalizando 33,5% da variabilidade total. Nesse período de avaliação a maior parte dos grupos da fauna edáfica estiveram associados aos tratamentos da área sem uso histórico (SH) de cama de aves. Os grupos Oligochaeta, Hemiptera, Diplopoda e larva de Diptera estiveram mais associados ao tratamento SHNC, em função do maior teor de carbono total. A riqueza de grupos, Acari e Thysanoptera estiveram mais relacionados ao tratamento SHC, sendo sua presença influenciada pela matéria seca da pastagem (Figura 4.5.4).

Os grupos Collembola, Araneae e larva de Coleoptera apresentaram maior associação ao tratamento CHC, em função do maior teor de umidade do solo (Figura 4.5.4). A presença desses grupos nessa área (CH) pode ter sido favorecida pelas condições de ambiente e aporte de matéria orgânica, devido o uso histórico da cama de aves. Silva et al., (2016) verificaram que, a adubação orgânica com dejeto de suínos contribuiu para uma maior densidade de colêmbolos. Geremia et al. (2015), avaliando diferentes fontes de adubação sobre a fauna edáfica e a relação desta com as variáveis físico-químicas do solo encontraram associação do grupo Araneae ao tratamento com adubação orgânica a base de cama de aves. De acordo com os autores a abundância desse grupo é favorecida pelos maiores teores de matéria orgânica e umidade do solo.

Figura 4.5. 4 - Análise de Componentes Principais (ACP) no Tempo 1 para os grupos da fauna edáfica encontrados e as variáveis ambientais utilizadas como explicativas (**Em negrito**) em Nitossolo Vermelho distroférrico com histórico (CH) e sem uso histórico de cama de aves (SH). ○ CHC: Área com histórico e cama compostada; ● CHNC: Área com histórico e cama não compostada; □ SHC: Área sem histórico e cama compostada; ■ SHNC: Área sem histórico e cama não compostada. Acari (Aca), Araneae (Ara), Coleoptera (Col), Collembola (Coll), Densidade (Densidade), Diplopoda (Dip), Formicidae (For), Hemiptera (Hem), Larva de Coleoptera (L. Col), Larva de Diptera (L. Dipt), Mollusca (Moll), Oligochaeta (Oli), Outros (Out), Riqueza (Riqueza), Symphyla (Sym), Thysanoptera (Thy). Carbono total (Ctot), Nitrogênio total (Ntot), Umidade (**Umidade**) e matéria seca da pastagem (**MS Pastagem**).

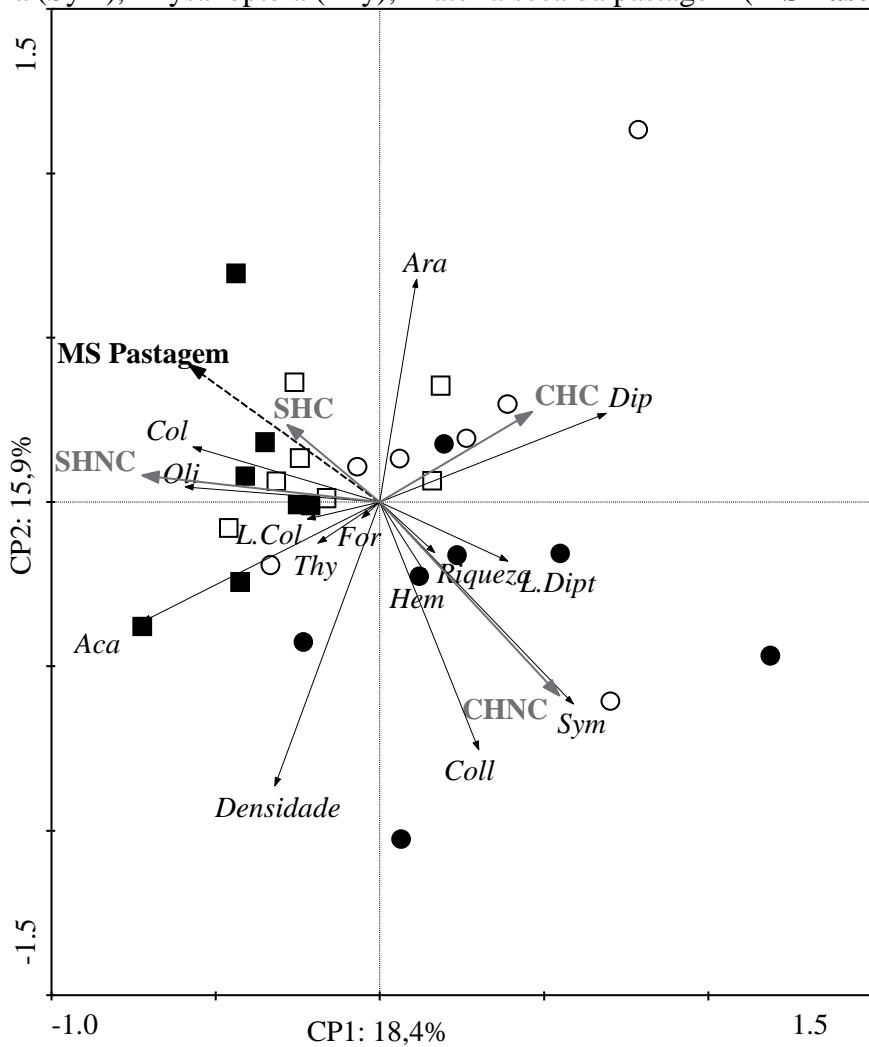


Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Na ACP do Tempo 2 a primeira componente principal (CP1) explica 18,4% e a segunda componente (CP2) explica 15,9% da variabilidade entre os tratamentos estudados, totalizando 34,3% da variabilidade total. Os grupos Oligochaeta, Coleoptera e larva de Coleoptera estiveram mais associados aos tratamentos da área SH, influenciados pela matéria seca da pastagem. A presença desses grupos nesse tratamento pode ter sido favorecida pelas melhores condições do ambiente, devido ao maior desenvolvimento vegetativo da aveia em razão da disponibilidade de nutrientes para as plantas e maior quantidade de cobertura do solo.

Enquanto que, os grupos Diplopoda, Collembola e Sympyla apresentaram maior relação com os tratamentos da área CH (Figura 4.5.5).

Figura 4.5. 5 - Análise de Componentes Principais (ACP) no Tempo 2 para os grupos da fauna edáfica encontrados e as variáveis ambientais utilizadas como explicativas (**Em negrito**) em Nitossolo Vermelho distroférrico com histórico (CH) e sem uso histórico de cama de aves (SH). ○ CHC: Área com histórico e cama compostada; ● CHNC: Área com histórico e cama não compostada; □ SHC: Área sem histórico e cama compostada; ■ SHNC: Área sem histórico e cama não compostada. Acari (Aca), Araneae (Ara), Coleoptera (Col), Collembola (Coll), Diplopoda (Dip), Formicidae (For), Hemiptera (Hem), Larva de Coleoptera (L. Col), Larva de Diptera (L. Dipt), Oligochaeta (Oli), Riqueza (Riqueza), Sympyla (Sym), Thysanoptera (Thy); Matéria seca da pastagem (**MS Pastagem**).



Fonte: produção do próprio autor, 2018.

4.5.3.2 Avaliação dos efeitos do tratamento de compostagem da cama de aves

As análises de ACPs demonstraram uma separação entre os tratamentos com cama de aves compostada (C) e não compostada (NC) nas duas áreas avaliadas sem uso histórico de

cama de aves (SH) (Figuras 4.5.6AB) e com uso histórico (CH) (Figuras 4.5.7AB), o que indica que a prática da compostagem da cama de aves antes de sua aplicação no solo influencia nas respostas da fauna do solo.

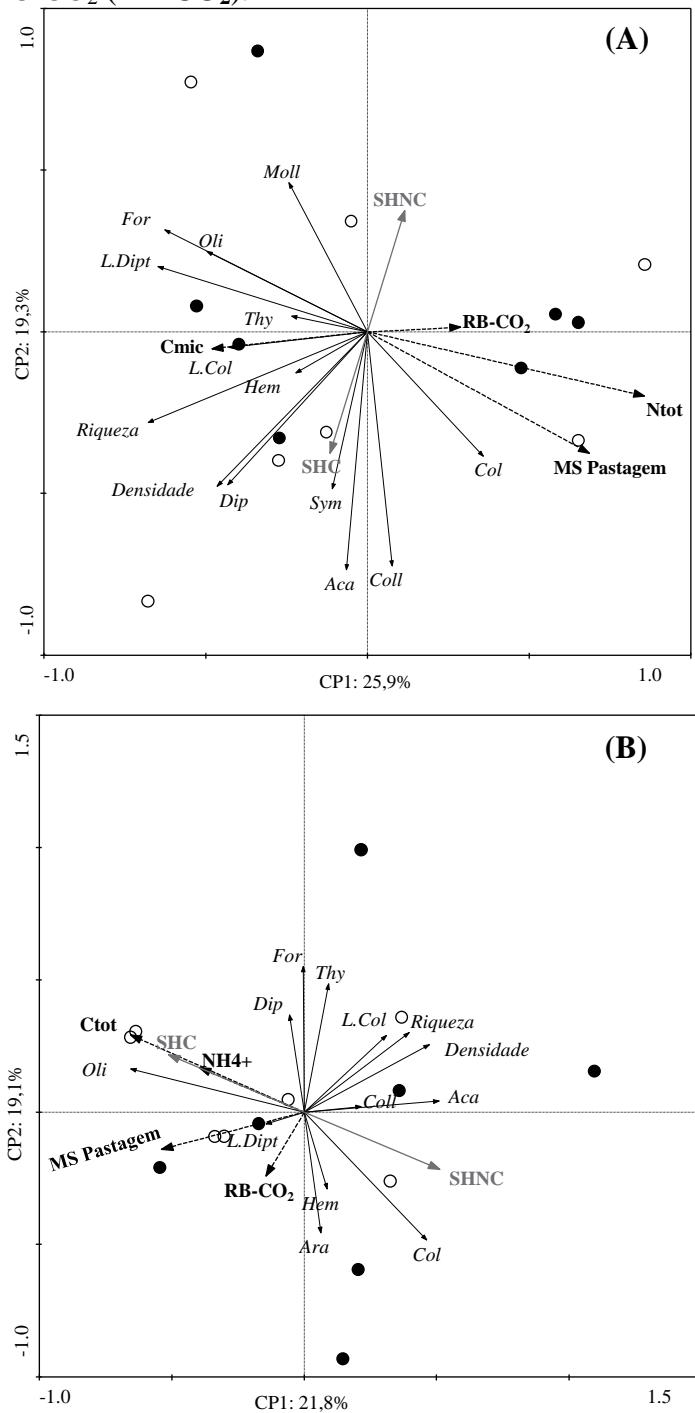
Na ACP do Tempo 1 a primeira componente principal (CP1) explica 25,9% e a segunda (CP2) explica 19,3% da variabilidade dos dados, totalizando 45,2% da variabilidade total. A maioria dos grupos da fauna edáfica estiveram relacionados ao tratamento SHC, especialmente os grupos Symphyla, Acari e Collembola (Figura 4.5.6A).

Na ACP do Tempo 2 a primeira componente principal (CP1) explica 21,8% e a segunda (CP2) explica 19,1% da variabilidade dos dados, totalizando 40,9% da variabilidade total. O tratamento SHC apresentou maior associação com os grupos, Oligochaeta e Diplopoda influenciados pelos maiores teores de carbono total e NH_4^+ , e larvas de Diptera em função da matéria seca da pastagem e a produção de C-CO₂. Os grupos Acari, Collembola e Coleoptera estiveram mais associados ao tratamento SHNC (Figura 4.5.6B).

Os colêmbolos e as minhocas são considerados bons indicadores para a avaliação de práticas como a adição de dejetos animais no solo (SEGAT et al., 2015; MACCARI et al., 2016). A associação das Oligochaetas ao tratamento SHC provavelmente está relacionada à maior estabilidade do resíduo orgânico resultando na menor liberação de compostos tóxicos como a amônia (NH₃) (Figura 4.5.6B). Tem sido reportado na literatura que as minhocas apresentam sensibilidade a NH₃ e podem não sobreviver em resíduos orgânicos com níveis elevados desse gás, como por exemplo, em cama de aves fresca (DOMINGUEZ e EDWARDS 2011).

A presença dos colêmbolos no tratamento SHNC pode estar relacionada aos teores de NH₄⁺ no solo, uma vez que esse parâmetro apresentou maior associação ao tratamento SHC (Figura 4.5.6B). Estudos encontrados na literatura apontam o NH₄⁺ como uma das principais causas da toxicidade dos resíduos orgânicos para colêmbolos (DOMENE et al., 2007; MACCARI et al., 2016).

Figura 4.5. 6 - Análise de Componentes Principais (ACP) no Tempo 1 (A) e Tempo 2 (B) para os grupos da fauna edáfica encontrados e as variáveis ambientais utilizadas como explicativas (**Em negrito**) em Nitossolo Vermelho distroférreo sem uso histórico de cama de aves tratado com cama de aves compostada e não compostada. ○ SHC: Área sem histórico e cama compostada; ● SHNC: Área sem histórico e cama não compostada; Acari (Aca), Araneae (Ara), Coleoptera (Col), Collembola (Coll), Densidade (Densidade), Diplopoda (Dip), Formicidae (For), Hemiptera (Hem), Larva de Coleoptera (L. Col), Larva de Diptera (L. Dipt), Mollusca (Moll), Oligochaeta (Oli), Outros (Out), Riqueza de grupos (Riqueza), Symphyla (Sym), Thysanoptera (Thy). Amônio (NH_4^+), Carbono microbiano (Cmic), Carbono total (Ctot), Nitrogênio total (Ntot), Matéria seca da pastagem (MS Pastagem), Produção acumulada de C-CO₂ (RB-CO₂).



Fonte: produção do próprio autor, 2018.

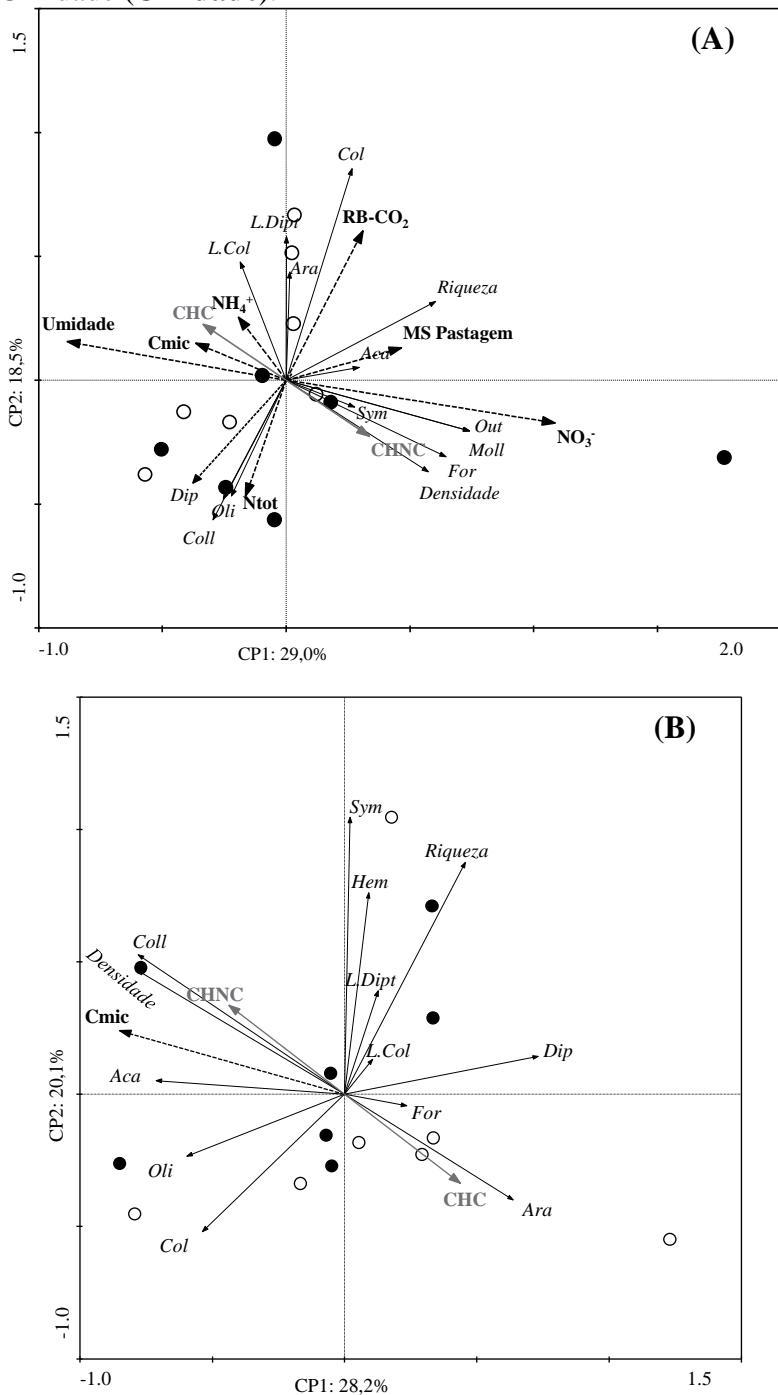
Nas Figuras 4.5.7AB encontram-se apresentadas as ACPs da área com uso histórico de cama de aves (CH) tratada com cama de aves compostada (C) e não compostada (NC) para os Tempos 1 e 2, respectivamente.

Na ACP do Tempo 1 a primeira componente principal (CP1) explica 29,0% e a segunda (CP2) explica 18,5% da variabilidade dos dados, totalizando 47,5% da variabilidade total. No Tempo 1, o tratamento CHC apresentou maior associação com as larvas de Coleoptera e com os atributos NH_4^+ , carbono microbiano e umidade. Os grupos Formicidae, Mollusca, Symphyla, Outros (indivíduos não identificados) e a densidade estiveram mais associados ao tratamento CHNC (Figura 4.5.7A). A riqueza de grupos e a presença de ácaros não se relacionaram com nenhum dos tratamentos, mas foram influenciados pela matéria seca da pastagem. Os grupos Coleoptera, Araneae e larva de Diptera também não apresentam associação com nenhum dos tratamentos, mas foram influenciados pela produção de C-CO₂. Já os grupos Oligochaeta, Collembola e Diplopoda foram influenciados pelos teores de nitrogênio total (Figura 4.5.7A).

Na ACP do Tempo 2 a primeira componente principal (CP1) explica 28,2% e a segunda (CP2) explica 20,1% da variabilidade dos dados, totalizando 48,3% da variabilidade total (Figura 4.5.7B). No Tempo 2 o grupo Araneae e Formicidae apresentaram maior associação ao tratamento CHC, enquanto que o grupo Collembola, densidade e Acari estiveram mais associados ao tratamento CHNC, e sua presença explicada pelo carbono microbiano (Figura 4.5.7B). Os demais grupos não apresentaram nenhuma associação com os tratamentos.

A predominância de alguns grupos de organismos predadores como, por exemplo, Araneae está associada a ambientes com melhor qualidade e com menor ação antrópica, pois, nessas áreas, existe maior disponibilidade de alimentos e condições que favorecem o seu estabelecimento (BARETTA et al., 2007; BARETTA et al., 2011). A presença dos colêmbolos no tratamento CHNC no Tempo 2 indica que ao longo do tempo pode ter ocorrido melhorias no ambiente favorecendo o estabelecimento desse grupo.

Figura 4.5. 7 - Análise de Componentes Principais (ACP) no Tempo 1 (A) e Tempo 2 (B) para os grupos da fauna edáfica encontrados e as variáveis ambientais utilizadas como explicativas (**Em negrito**) em Nitossolo Vermelho distroférreico com uso histórico de cama de aves tratado com cama de aves compostada e não compostada. ○ CHC: Área com histórico e cama compostada; ● CHNC: Área com histórico e cama não compostada; Abundância (Abundância), Acari (Aca), Araneae (Ara), Coleoptera (Col), Collembola (Coll), Diplopoda (Dip), Formicidae (For), Hemiptera (Hem), Larva de Coleoptera (L. Col), Larva de Diptera (L. Dipt), Mollusca (Moll), Oligochaeta (Oli), Outros (Out), Riqueza (Riqueza), Symphyla (Sym), Thysanoptera (Thy). Amônio (NH_4^+), Carbono microbiano (**Cmic**), Nitrato (NO_3^-), Nitrogênio total (**Ntot**), Matéria seca da pastagem (**MS Pastagem**), Produção acumulada de C- CO_2 (**RB-CO**₂) e Umidade (**Umidade**).



Fonte: produção do próprio autor, 2018.

O funcionamento dos ecossistemas apresenta uma relação direta com a biodiversidade do solo. Os processos básicos dos ecossistemas terrestres, tais como, a decomposição, ciclagem de nutrientes, produtividade primária dependem da atividade dos organismos edáficos (WURST et al., 2012). A perda de grupos funcionais benéficos de invertebrados do solo pode resultar na perda desses processos essenciais do ecossistema podendo resultar ao longo do tempo na redução da fertilidade e capacidade produtiva do solo (COCK et al., 2012).

Os ensaios em condições de semi-campo com modelos de ecossistemas terrestres constituem uma ferramenta importante para a avaliação dos efeitos da aplicação de cama de aves nos solos sobre a densidade e diversidade de grupos da fauna do solo.

4.5.4 Conclusões

O uso continuado de cama de aves promoveu redução na densidade e diversidade de grupos da fauna do solo, sendo os efeitos dependentes do tratamento (cama compostada e não compostada) e do tempo de avaliação.

No primeiro tempo de avaliação, o uso histórico reduziu a riqueza de grupos no tratamento com adição de cama de aves não compostada (CHNC). No segundo tempo de avaliação o uso histórico reduziu a densidade de indivíduos no tratamento com adição da cama de aves compostada (CHC).

A presença dos grupos de fauna do solo foi influenciada pelo uso histórico de cama de aves e pelo tratamento do resíduo (compostagem), o que evidencia a necessidade da adoção de práticas de gerenciamento e descarte adequadas da cama de aves (compostagem, volume e frequência de aplicação), com o intuito de garantir a manutenção da biodiversidade e de todos os serviços e funções essenciais nos ecossistemas.

REFERÊNCIAS

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

ALVES, M. V. et al. Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos e dejetos de suínos no oeste do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 589-598, 2008.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; DE OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (Ed.). **Tópicos especiais em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. p. 141-192.

BARETTA, D. et al. Trap and soil monolith sampled edaphic spiders (arachnida: araneae) in *Araucaria angustifolia* forest. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n.4, p. 375-383, 2007.

COCK, M. J. et al. The positive contribution of invertebrates to sustainable agriculture and food security. **CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, United Kingdom, v. 7, n. 043, p. 1-27, 2012.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2016. 376 p.

DOMENE, X; ALCAÑIZ, J. M; ANDRÉS, P. Ecotoxicological of organic wastes using the soil collembolan *Folsomia candida*. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 35, n.3, p. 461-472, 2007.

DOMINGUEZ, J.; EDWARDS, C. A. **Biology and ecology of earthworm species used for vermicomposting**. 2011. Disponível em: < <http://jdguez.webs.uvigo.es/wp-content/uploads/2012/01/Biology-and-Ecology-of-Earthworm-species-used-for-Vermicomposting.pdf> > Acesso em 09 nov. 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

GEREMIA, E. V. et al. Fauna edáfica em pastagem perene sob diferentes fontes de nutrientes. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 16, n. 4, p. 17-30, 2015.

LOURENÇO, K. S. et al. Crescimento e absorção de nutrientes pelo feijoeiro adubado com cama de aves e fertilizantes minerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n.2, p. 462-471, 2013.

MACCARI, A. P. et al. Ecotoxicological effects of pig manure on *Folsomia candida* in subtropical Brazilian soils. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 314, p. 113-120, 2016.

ROGERI, D. A. et al. Composition of poultry litter in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 40, p. 1-7, 2016.

SCHÄFFER, A. et al. Semi-field methods are a useful tool for the environmental risk assessment of pesticides in soil. **Environmental Science and Pollution Research**, sl., v. 15, n.3, p. 176-177, 2008.

SCHOLZ-STARKE, B. et al. The response of soil organism communities to the application of the insecticide lindane in terrestrial model ecosystems. **Ecotoxicology**, sl., v. 22, p. 339-362, 2013.

SEGAT, J. C. **Avaliação ecotoxicológica da aplicação de dejeto líquido de suínos em solos subtropicais**. 2016. 304 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

SEGAT, J. C. et al. Ecotoxicological evaluation of swine manure disposal on tropical soils in Brazil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 122, p. 91-97, 2015.

SILVA, D. M. et al. Effects of pig slurry application on the diversity and activity of soil biota in pasture areas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.46, n.10, p.1756-1763, 2016.

STATISTIC. StatSoft, Inc. (2004). **STATISTICA (data analysis software system)**, version 7. Disponível em: <www.statsoft.com>. Acesso em: 14 dez. 2017.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

TER BRAAK, C. J. F.; SMILAUER, P. **CANOCO**. Reference manual and CanoDraw for Windows user´s guide: Software for Canonical Comunitiy Ordination, version 4.5. Microcomputer Power, Ithaca, 2002.

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

VELTHORST, E.J. **Manual for Chemical Water Analysis**. Wageningen: Agricultural University. 1993.

WURST, S.; DE DEYN, G. B.; ORWIN, K. Soil biodiversity and functions. In: WALL, D.H.; BARDGETT, R. D.; BEHAN-PELLETIER, V.; HERRICK, J. E.; JONES, H.; RITZ, K.; SIX, J.; STRONG, D.-R.; VAN DER PUTTEN, W. H.; (Ed.). **Soil ecology and ecosystem services**. Oxford: University Press, Oxford, UK, 2012. p. 81-41.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios de toxicidade crônica (reprodução) apresentaram maior sensibilidade para avaliação da toxicidade da cama de aves quando comparados aos ensaios de toxicidade aguda (letalidade).

Não foram encontradas diferenças de toxicidade entre as duas camas (C e NC) dentro de cada solo nas doses testadas. Exceto, nos ensaios de reprodução com *F. candida* no Nitossolo, onde a cama de aves NC ocasionou maior toxicidade para os organismos, quando comparada a cama de aves C.

Com base nos resultados do presente estudo, recomenda-se a realização da compostagem da cama de aves antes de sua aplicação no solo para reduzir o risco desse resíduo para invertebrados do solo. É importante destacar que, os efeitos da compostagem na redução de patógenos e na taxa de degradação dos compostos veterinários e inseticidas não foram avaliados. Os riscos potenciais associados à presença desses contaminantes na cama de aves ainda não são bem compreendidos e precisam ser mais estudados para determinar os efeitos em curto e em longo prazo desses compostos para a fauna do solo quando esse resíduo é utilizado como fertilizante em áreas agrícolas.

Quando analisado individualmente, o Nitossolo apresentou maior toxicidade derivada da aplicação de cama de aves que o Cambissolo. Os resultados apontam a necessidade de elaboração de normativas que regulamentarizem a aplicação desses dejetos dando particular atenção aos níveis máximos permitidos de acordo com o tipo de solo.

As quatro espécies de invertebrados do solo apresentaram respostas distintas quando expostas a solos com doses crescentes de cama de aves C e NC. A reprodução das espécies *Folsomia candida* e *Eisenia andrei* foi afetada negativamente pela adição de cama de aves, sendo a magnitude dos efeitos dependente da dose e solo testado. Por outro lado, a reprodução da espécie *Enchytraeus crypticus* foi influenciada positivamente pela adição do resíduo orgânico ao solo, enquanto que, a espécie *Hypoaspis aculeifer* não apresentou diferenças em relação ao solo controle.

Os diferentes valores de concentração efetiva CE_{50} encontrados para as diferentes espécies de invertebrados do solo reforçam a importância da utilização de mais de uma espécie indicadora para a avaliação da toxicidade de um contaminante.

A aplicação de cama de aves no solo pode influenciar as comunidades naturais da fauna do solo positivamente ou negativamente dependendo da maneira como esses resíduos são gerenciados e descartados no solo (volume e frequência de aplicação etc.).

Os ensaios em condições de semi-campo com TMEs constitui uma ferramenta importante na avaliação dos efeitos da aplicação de cama de aves nos solos sobre a diversidade e funções exercidas pelas comunidades edáficas.

A fauna do solo apresenta potencial para ser utilizada como indicadora na avaliação de práticas como a adição de resíduos orgânicos no solo.

OUTROS RESULTADOS

Paralelo às atividades descritas e apresentadas na presente Tese durante o doutoramento foram desenvolvidos outros estudos envolvendo avaliações ecotoxicológicas com cama de aves em outra classe de solo e a avaliação da toxicidade do inseticida utilizado no controle de cascudinho (*Alphitobius diaperinus*) (dados não apresentados). Os dados obtidos nesses estudos serão publicados separadamente, pois não estavam previstos inicialmente no Projeto de Tese.

- 1- Avaliação do efeito da aplicação de doses crescentes de cama de aves compostada e não compostada sobre a sobrevivência e reprodução de minhocas (*E. andrei*), colêmbolos (*F. candida*) e enquitreídeos (*E. crypticus*) em Neossolo Quartzarênico órtico típico.
- 2- Avaliação da toxicidade do inseticida comercial utilizado no controle de cascudinhos (Vetancid) por meio de testes ecotoxicológicos padronizados (ISO), sobre a taxa de sobrevivência e reprodução minhocas (*E. andrei*), colêmbolos (*F. candida*) em dois solos naturais do estado de Santa Catarina (Neossolo Quartzarênico órtico típico e Nitossolo Vermelho distroférrico).
- 3- Avaliação do efeito da aplicação de cama de aves contaminada artificialmente em laboratório com doses crescentes de inseticida em pó utilizado no controle de cascudinho sobre a taxa de sobrevivência e reprodução de *E. andrei* e *F. candida* em dois solos naturais (Neossolo Quartzarênico órtico típico e Nitossolo Vermelho distroférrico).

APÊNDICES

Apêndice A - Parâmetros químicos e físicos do Cambissolo Húmico alumínico (Cambissolo) e Nitossolo Vermelho distroférrico (Nitossolo) avaliados na camada de 0,00-0,20 m.

Parâmetros	Cambissolo	Nitossolo
MO ¹ (%)	3,1	3,0
pH (H ₂ O)	4,4	5,5
Nt ² (%)	0,47	0,27
P (mg dm ⁻³)	30,8	9,5
K (mg dm ⁻³)	144,0	96,0
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,0	5,0
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,8	2,0
Al (cmol _c dm ⁻³)	4,8	0,0
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	24,41	3,47
CTC ³ (cmol _c dm ⁻³)	25,63	10,78
Cu (mg dm ⁻³)	< 0,2	9,5
Zn (mg dm ⁻³)	3,4	3,9
Fe (mg dm ⁻³)	>5,0	4,2
Mn (mg dm ⁻³)	27,5	8,9
Areia (%)	26	35
Silte (%)	43	32
Argila (%)	31	33
Textura	Franco argiloso	Franco argiloso

MO¹ – Matéria Orgânica; Nt² – Nitrogênio total; CTC³ – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0.

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Apêndice B - Parâmetros físico-químicos da cama de aves compostada (C) e não compostada (NC).

	pH	MS ¹	Nt ²	Ct ³	C/N	P	K	Ca	Mg	Mn	Cu	Fe	Zn
Cama	(H ₂ O)	(%)	(%)	(%)	Total			(%).....				
C	8,5	81,4	3,13	41,00	13,09	3,3	4,2	3,4	1,7	0,06	0,06	0,27	0,04
NC	9	70,3	2,51	39,12	15,58	2,7	4,4	2,6	1,6	0,04	0,04	0,09	0,03

¹MS – Matéria seca; Nt² – Nitrogênio total e Ct³ – Carbono total (Analisisados pelo Analisador Elementar CHNS).

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Apêndice C - Questionário aplicado para identificação e caracterização da unidade de produção rural.

Dados de identificação:

Nome do produtor:

Município:

Localidade:

Distância da propriedade da sede do município (Km):

Telefone para contato:

Dados da unidade de produção:

Empresa Integradora:

Há quanto tempo trabalha na atividade:

Número galpões:

Dados de Manejo:

Linhagem das aves:

Sexo: Macho () Fêmea () Misto ()

Densidade de alojamento (nº médio de aves alojadas por lote)?

Lotes receberam tratamento?

Se sim:

Qual?

Quantos tratamentos?

Em que idade do lote?

Tratamento para quais doenças?

Qual a medicação (nome comercial)?

Dosagem?

Mantem guardado as fichas de controle zootécnico dos últimos lotes?

Tempo de permanência das aves no galpão? (duração de cada lote/dias).

Número lotes realizados com a cama atual.

Qual intervalo entre os lotes (vazio sanitário/dias).

Realiza algum procedimento durante o intervalo entre os lotes:

Faz leiras e fermentação da cama de aves? Sim () Não ()

Por quantos dias?

Utiliza inseticidas químicos na cama e/ou no galpão para controle de cascudinho ou outros insetos?

Se sim:

Quais? (nome comercial).

Forma de aplicação? Aspersão (diluído em água) () ou em pó ()

Qual a dosagem média utilizada?

Manejo dos resíduos:

Com quantos lotes faz a limpeza geral dos galpões (Retirada de toda cama de aves e limpeza e lavagem das instalações)?

Realiza algum tipo de tratamento da cama de aves como, por exemplo, a compostagem antes da aplicação no solo: Sim () Não ()

Se sim:

Por quantos dias?

Qual o procedimento realizado? Pilha e/ou cobertura com lona () Outro () Qual?

Qual o destino da cama de aves?

Vende: Sim () Não ()

Utiliza como fertilizante orgânico em áreas agrícolas: Sim () Não ()

Se sim:

Qual a área aplicada (ha^{-1})?

Quais as culturas?

Qual o sistema de uso e manejo do solo: Plantio direto () Sistema convencional () Integração lavoura-pecuária ILP ()

Em que época do ano costuma aplicar (mês)?

Há quanto tempo aplica? Menos de 1 ano (); 1 a 2 anos (); 3 a 4 anos (), 5 anos ou mais (); mais de 10 anos ()

Outro destino – Qual?

Histórico de uso do solo:

Qual o intervalo de aplicação (em meses)?

Qual o volume de aplicação no solo (toneladas ha^{-1}) em cada época do ano?

Utiliza outros tipos de fertilizantes nessas mesmas áreas? Exemplo dejeto de suínos.

Recebe alguma orientação técnica? Segue recomendações de acordo com o Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina?

Conhece o histórico das áreas que recebem cama de aves? Tempo de aplicação? Quais as culturas anteriores?

Conhece alguma área próxima que nunca tenha recebido a aplicação da cama de aves?

Se caso sua propriedade seja selecionada o Sr. (a) permite que sejam coletados solos e cama de aves para o desenvolvimento desse estudo?

NOTAS: Recolher o máximo de informações sobre o solo, profundidade, topografia, etc.