



**EFEITO DE DIFERENTES USOS DO SOLO NO CERRADO SOBRE A  
COMPOSIÇÃO DA FAUNA EDÁFICA**

**ANGELA PEREIRA BUSSINGUER**

**TESE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA-UnB**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**EFEITO DE DIFERENTES USOS DO SOLO NO CERRADO SOBRE A  
COMPOSIÇÃO DA FAUNA EDÁFICA**

**ANGELA PEREIRA BUSSINGUER**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. ALCIDES GATTO**

**TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**PUBLICAÇÃO: PPGEFL.TD-/2018  
BRASÍLIA/ DF: JUNHO DE 2018**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

EFEITO DE DIFERENTES USOS DO SOLO NO CERRADO SOBRE A COMPOSIÇÃO DA  
FAUNA EDÁFICA

ANGELA PEREIRA BUSSINGUER

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTORA EM CIÊNCIAS  
FLORESTAIS.

---

Professor Dr. ALCIDES GATTO  
(Departamento de Engenharia Florestal - UnB)  
(ORIENTADOR)

APROVADO POR:

---

Professor Dr. EIYTI KATO  
(Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - Universidade de Brasília)  
(EXAMINADOR EXTERNO)

---

Professor Dr. ALEXANDRE SPECHT  
(Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Cerrados)  
(EXAMINADOR EXTERNO)

---

Professor Dr. MAURO ELOI NAPPO  
(Departamento de Engenharia Florestal - Universidade de Brasília)  
(EXAMINADOR INTERNO)

---

Professor Dr. ANDERSON MARCOS DE SOUZA  
(Departamento de Engenharia Florestal - Universidade de Brasília)  
(SUPLENTE)

**BRASÍLIA/DF, 30 DE MAIO DE 2018**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

BB981e Bussinguer, Angela Pereira  
EFEITO DE DIFERENTES USOS DO SOLO NO CERRADO SOBRE A  
COMPOSIÇÃO DA FAUNA EDÁFICA / Angela Pereira Bussinguer;  
orientador Alcides Gatto. -- Brasília, 2018.  
119 p.

Tese (Doutorado - Doutorado em Ciências Florestais) --  
Universidade de Brasília, 2018.

1. Ciências Florestais. 2. Macrofauna. 3. Enquitreídeos.  
4. Microbiologia. 5. Bioindicadores. I. Gatto, Alcides,  
orient. II. Título.

“Estas son mis predicciones pa’ que no nos tropecemos, el futuro es nuestro cuando ya lo conocemos.”

(René Pérez, Residente)

## AGRADECIMENTOS

O principal, para meus pais e irmão, aos quais pude (re)conhecer durante esse período e ter a absoluta certeza do quão importantes são na minha vida, não apenas pelo dom da vida, mas por todos os princípios adquiridos e todas as demonstrações de amor, cada um à sua maneira. Assim como aos meus gatos: Mimi, Nina I, Nina II, Moisés e Gatinha-mãezinha, pelas fofurices felinas e até pelas alergias causadas, já que me faziam perceber que era hora de desligar o computador e ir dormir.

Ao meu orientador e amigo, Alcides Gatto, por continuar acreditando em um Programa de Pós-Graduação melhor e por nos ensinar a lidar com as pedras (leia-se também pessoas) no caminho, da melhor maneira possível. E a todos os professores que fizeram parte da minha formação, desde as tias Lia e Elisângela, que me ensinaram a ler.

A todos que me ajudaram a desenvolver a pesquisa na Embrapa Cerrados, alguns sem medir esforços, em especial à Cintia Niva, que mesmo com várias atividades e preocupações paralelas, sempre me atendeu, me ajudou e me tranquilizou em diversos momentos. Ao Juaci Malaquias, pela simpatia e disposição em dividir o que sabe sobre análises estatísticas. Ao William Matos, por compartilhar sua visão de mundo, por dicas de saúde física e mental e dicas valiosíssimas sobre o danado do corporativismo. Laís, Adriana, Arline, Djavan, Dgêssica, Renata e Douglas, por um pouco de cada coisa citada acima, pela divisão de aflições, pela confiança e por me mostrar realidades tão diferentes da minha.

Aos amigos da UnB, pelo companheirismo, viagens (físicas e imaginárias), congressos, artigos, livros publicados, momentos de descontração diversos e até pelos possíveis desentendimentos ocasionados pela minha sinceridade (nunca confundida com grosseria): Maísa, Ilvan, Marco, Matheus, Mariana e demais colaboradores. Em especial à Fabiana Ribeiro, que me proporcionou o prazer de participar de sua vida além dos três pilares da Universidade e que seguramente me ajudou a ser uma pessoa melhor e menos louca (porque, claro, tenho um título de doutora e vários problemas psicológicos oriundos disso).

Aos amigos *ex-situ*, mas de alguma maneira conectados à empreitada da pós-graduação: Janine Moreira, Juliana Canela, Vander Matos (migo!), Fernando Martins e Henrique Clementino. Ao Pedro Beck, que me ensinou em dois anos muito sobre amor, sobre família, autoconhecimento (!), tolerância e amizade. Aos amigos que fiz por causa do idioma que decidi aprender e que me ajudou a manter o foco e os objetivos, Thaynan, Regina, Anna, Caio e Daniel: merci beaucoup!

Mikaela Cardoso, que é absolutamente *in situ*, mas que junto com sua trupe (Yuri e Márcio) merecem um espaço dedicado a ela, por todo amor, companheirismo e todas as horas reclamando de tudo que não funciona. João Mutti, o mais *ex-situ*, *in-situ* que existe, que é de humanas, mas de exatas (my bad) e de preguiças, que me ajudou em diversos momentos e sem o qual não existiriam as figuras bonitinhas que tão aí.

A toda la família Tinoco, que me ayudó muchísimo en México mientras escribía parte de mi tesis, e que me acolheu como filha mais velha, Eloísa Arriaga, Alejandra León, Sebastian Peralta, Gabi, Javier, Lili, las gatitas Lula y Coco, Eduardo Villeda por las tardes/noches en Coyoacán, Wladimir Galaz, que não é mexicano, mas que ensinou muito sobre várias paradas importantes da vida, inclusive Rick and Morty. Ao Scott Caplan, que me ensinou muito sobre seguir suas paixões (hobbies) e que se tornou um grande amigo, com suas doses diárias de ironia americana. A los muchachos de la noche serena, que conheci em Oaxaca, mas que por sorte vivem no país onde o bagulho é louco: Kedma, Alysson e Roberta.

À toda comunidade científica, por estar começando a tratar problemas psicológicos na pós-graduação, como depressão, como se deve e não como mimimi (the struggle is real). A todo assédio moral (muitas vezes só por ser mulher) e sexual que sofri durante **todo** o período em que estive em uma das instituições já citada anteriormente, por me fazer perceber o quão forte eu poderia (e posso) ser.

A todos os projetos que executei como convidada e aos que idealizei, principalmente o de levar a ideia da Brewjula adiante, após fazer o curso de produção de cerveja artesanal na Bodebrown com um dos realizadores da Cupulate (Edigyl Pupo) junto à uma cervejaria do Norte do Brasil, a melhor cerveja que tomei nos últimos dois anos (mas depois de escrever isso descobri a Catharina sour de cupuaçu, valeu aí Schornstein e Escola Superior de Cerveja e Malte).

E a todos que não atrapalharam, de alguma forma, a execução dessa pesquisa, meu MUITO obrigada.

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO GERAL.....  | 1         |
| 1.1. QUESTÕES DE PESQUISA.....  | 3         |
| 1.2. OBJETIVOS.....   | 3         |
| 1.2.1. Objetivos gerais.....  | 3         |
| 1.2.2. Objetivos específicos.....   | 3         |
| 2. METODOLOGIA GERAL.....   | 5         |
| 2.1. ÁREA DE ESTUDO.....  | 5         |
| REFERÊNCIAS.....  | 7         |
| <b>CAPÍTULO 1.....</b>  | <b>10</b> |
| 1.1. INTRODUÇÃO.....  | 12        |
| 1.2. MATERIAIS E MÉTODO.....  | 13        |
| 1.2.1. ÁREA DE ESTUDO.....  | 13        |
| 1.2.2. AMOSTRAGEM DA MACROFAUNA.....  | 13        |
| 1.2.3. TRIAGEM DA MACROFAUNA.....   | 13        |
| 1.2.4. ATRIBUTOS ECOLÓGICOS.....  | 15        |
| 1.2.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....   | 15        |
| 1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....  | 16        |
| 1.3.1. DENSIDADE E RIQUEZA.....   | 16        |
| 1.3.2. DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DA MACROFAUNA.....   | 20        |
| 1.3.3. COMPARAÇÃO DOS DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO<br>CONSIDERANDO PADRÕES DA MACROFAUNA..... | 23        |
| 1.4. CONCLUSÕES.....  | 26        |
| REFERÊNCIAS.....  | 27        |
| <b>CAPÍTULO 2.....</b>  | <b>31</b> |
| 2.1. INTRODUÇÃO.....  | 33        |
| 2.2. MATERIAIS E MÉTODO.....  | 35        |
| 2.2.1. ÁREA DE ESTUDO.....  | 35        |
| 2.2.2. AMOSTRAGEM, TRIAGEM E ATRIBUTOS ECOLÓGICOS.....  | 35        |
| 2.2.3. PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS E MICROBIOLÓGICAS DO SOLO.....                                | 35        |
| 2.2.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....   | 36        |
| 2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....  | 38        |
| 2.3.1. FÍSICA DO SOLO.....  | 38        |
| 2.3.2. QUÍMICA DO SOLO.....   | 40        |

|   |            |
|---|------------|
| 2.3.3. MICROBIOLOGIA .....  | 45         |
| 2.3.4. MACROFAUNA .....   | 48         |
| 2.3.5. INFLUÊNCIA DOS ATRIBUTOS DO SOLO NA MACROFAUNA EDÁFICA ..    | 48         |
| 2.4. CONCLUSÕES .....   | 53         |
| REFERÊNCIAS .....   | 54         |
| <b>CAPÍTULO 3 .....</b>   | <b>60</b>  |
| 3.1. INTRODUÇÃO .....   | 62         |
| 3.2. MATERIAS E MÉTODO .....  | 64         |
| 3.2.1. ÁREA DE ESTUDO .....   | 64         |
| 3.2.2. AMOSTRAGEM DE MINHOCAS E ENQUITREÍDEOS .....                 | 64         |
| 3.2.3. TRIAGEM E IDENTIFICAÇÃO DE OLIGOCHAETA .....                 | 64         |
| 2.3.4. ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E MICROBRIOLÓGICOS DO SOLO ..... | 65         |
| 3.2.4. AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS ECOLÓGICOS DE OLIGOCHAETA .....      | 66         |
| 3.2.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....                                  | 67         |
| 3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                   | 68         |
| 3.3.1. DENSIDADE E RIQUEZA .....                                    | 68         |
| 3.3.1.1. Enquitreídeos .....  | 68         |
| 3.3.1.2. Minhocas .....   | 72         |
| 3.3.2. CATEGORIAS ECOLÓGICAS DE MINHOCAS .....                      | 77         |
| 3.3.3. INFLUÊNCIAS DOS SISTEMAS DE USO DO SOLO EM OLIGOCHAETA ..... | 79         |
| 4.3. CONCLUSÕES .....   | 90         |
| REFERÊNCIAS .....   | 91         |
| <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                                   | <b>97</b>  |
| <b>ANEXO I .....</b>  | <b>98</b>  |
| <b>ENQUITREÍDEOS .....</b>  | <b>98</b>  |
| • Variáveis Químicas .....  | 98         |
| • Variáveis Físicas .....   | 101        |
| • Variáveis Microbiológicas .....                                   | 103        |
| <b>MINHOCAS .....</b>   | <b>105</b> |
| • Variáveis Químicas .....  | 105        |
| • Variáveis Físicas .....   | 106        |
| • Variáveis Microbiológicas .....                                   | 107        |

## LISTA DE TABELAS

### Metodologia Geral

|  |   |
|--|---|
| Tabela 1. Descrição e histórico dos sistemas de uso de solo avaliados..... | 5 |
|--|---|

### Capítulo 1

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1.1 - Densidade (ind m <sup>-2</sup> ) e riqueza de grupos taxonômicos..... | 18 |
|--|----|

### Capítulo 2

|   |    |
|---|----|
| Tabela 2.1. Valores médios e desvio padrão dos aspectos texturais nos diferentes sistemas de uso do solo..... | 36 |
|---|----|

### Capítulo 3

|  |    |
|--|----|
| Tabela 3.1. Valores médios e desvio padrão dos parâmetros químicos do solo.....  | 65 |
| Tabela 3.2 - Valores médios e desvio padrão dos parâmetros físicos do solo.....  | 66 |
| Tabela 3.3 - Valores médios e desvio padrão dos parâmetros microbiológicos.....  | 67 |
| Tabela 3.4 - Densidade total da mesofauna edáfica em duas épocas de avaliação.....   | 68 |
| Tabela 3.5 - Riqueza de gêneros de enquitreídeos.....  | 70 |
| Tabela 3.6 - Densidade e riqueza de minhocas.....  | 73 |
| Tabela 3.7 - Determinação da influência das variáveis físicas do solo sobre a abundância do gênero <i>Achaeta</i> .....                  | 81 |
| Tabela 3.8 - Determinação da influência das variáveis físicas do solo sobre a abundância do gênero <i>Hemienchytraeus</i> .....          | 82 |
| Tabela 3.9 - Determinação da influência das variáveis microbiológicas do solo sobre a abundância do gênero <i>Achaeta</i> .....          | 83 |
| Tabela 3.10 - Determinação da influência das variáveis microbiológicas do solo sobre a abundância do gênero <i>Hemienchytraeus</i> ..... | 83 |
| Tabela 3.11 - Determinação da influência das variáveis químicas do solo sobre a abundância do gênero <i>Dichogaster</i> .....            | 84 |
| Tabela 3.12 - Determinação da influência das variáveis químicas do solo sobre a abundância do gênero <i>Pontoscolex</i> .....            | 85 |

|  |    |
|--|----|
| Tabela 3.13 - Determinação da influência das variáveis físicas do solo sobre a abundância do gênero <i>Dichogaster</i> .....         | 86 |
| Tabela 3.14 - Determinação da influência das variáveis físicas do solo sobre a abundância do gênero <i>Pontoscolex</i> .....         | 87 |
| Tabela 3.15 - Determinação da influência das variáveis microbiológicas do solo sobre a abundância do gênero <i>Dichogaster</i> ..... | 87 |
| Tabela 3.16 - Determinação da influência das variáveis microbiológicas do solo sobre a abundância do gênero <i>Pontoscolex</i> ..... | 88 |

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo 1

|  |    |
|--|----|
| Figura 1.1. Esquema de coleta dos monólitos de solo .....  | 14 |
| Figura 1.2. Densidade relativa da macrofauna edáfica em sua distribuição vertical .....                                | 21 |
| Figura 1.3. Análise de componentes principais (ACP) entre grupos da macrofauna edáfica e sistemas de uso do solo ..... | 24 |

### Capítulo 2

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1. Atributos físicos do solo .....   | 39 |
| Figura 2.2. Atributos químicos do solo .....  | 42 |
| Figura 2.3. Atributos químicos do solo .....  | 44 |
| Figura 2.4. Atributos microbiológicos do solo .....   | 47 |
| Figura 2.5. Análise de componentes principais (ACP) entre grupos da macrofauna, sistemas de uso do solo e atributos físicos, químicos e microbiológicos ..... | 50 |

### Capítulo 3

|   |    |
|---|----|
| Figura 3.1. Diagrama de Cluster com base na distância euclidiana da densidade de enquitreídeos (ind m <sup>-2</sup> ) ..... | 79 |
| Figura 3.2. Diagrama de Cluster com base na distância euclidiana da densidade de minhocas (ind m <sup>-2</sup> ) .....      | 80 |

# 1. INTRODUÇÃO GERAL

As alterações decorrentes dos diversos usos do solo a nível mundial são refletidas diretamente nos solos e são representadas, principalmente, pela erosão, perda de fertilidade e de matéria orgânica, compactação, salinização, inundações e deslizamento de terras, contaminação e redução da biodiversidade não só pelas perdas causadas devido à modificação da biomassa vegetal, mas também pela introdução de espécies exóticas (Brossard; Barcelos, 2005; Mcleod et al., 2016) e tal cenário tem estimulado a adoção de práticas de manejo mais conservacionistas (Silva et al., 2006; Portilho et al., 2011; Bertossi et al., 2016).

O Cerrado brasileiro e os Llanos venezuelanos constituem as últimas fronteiras agrícolas abertas na América do Sul e vem sofrendo, em território nacional, uma extensa expansão agrícola desde a década de 1970 por meio de incentivos governamentais (Benito et al., 2005; Santos; Sano, 2015; Queiroz et al., 2016).

Devido às características favoráveis ao desenvolvimento agrícola e agropecuário, como topografia plana e predominância de Latossolos favoráveis à mecanização (Assad, 1997; Santos; Sano, 2015), a região que compreende o Cerrado é responsável por grande parte da produção de grãos, carne bovina e fibras, e se tornou um dos maiores exportadores de alimentos do Brasil, com crescimento correspondente a quase 3 milhões de toneladas de grãos em relação às safras anteriores (Oliveira et al., 2010; Conab, 2016).

O Cerrado é um *hotspot* global de biodiversidade, com mais de 4.800 espécies de plantas e vertebrados endêmicos do bioma (Strassbur et al., 2017). O bioma perdeu 9 mil km<sup>2</sup> entre 2000 e 2015 (MCTI, 2016; INPE, 2017). As altas taxas de conversão do Cerrado para pastagens e agricultura durante os últimos anos comprometem a sua sustentabilidade (Gibbs, et al., 2015; Noojipady et al., 2017) tendo em vista que mais de 50% da vegetação nativa do Cerrado já foi convertida para outros usos (Reis et al. 2017), além de comprometerem a qualidade do solo.

A qualidade do solo pode ser definida como a capacidade deste funcionar dentro do ecossistema, visando sustentar a produtividade biológica e manter a qualidade ambiental. Abrange o equilíbrio entre fatores ambientais, físicos, químicos e biológicos e pode ser mensurada por meio das propriedades físicas e químicas do solo e de indicadores ambientais, representados principalmente pelo componente vivo do ecossistema (fauna e flora) (Karlen et al., 1997; Aquino, 2005; Van Leeuwen et al., 2015).

A descrição da qualidade do solo pode ser realizada por meio da mensuração de suas propriedades, funções ou processos como erosão, compactação, salinização e mudanças na matéria orgânica do solo, além do uso de variáveis climáticas (Garrigues et al., 2012; Abdollahi et al., 2015).

A saúde do solo também é dependente de quatro funções principais: transformações do carbono por meio da decomposição da matéria orgânica e que também suporta desintoxicação e serviços de eliminação de resíduos do solo; ciclagem de nutrientes e regulação da emissão de óxido nitroso; manutenção da estrutura do solo por meio da agregação e transporte de partículas do solo, formação de bioestruturas e rede de poros em diferentes escalas, influenciando a regulação do ciclo solo-água e proporcionando um meio de crescimento de raízes favorável para as plantas; e regulação de pragas e doenças. Cada uma dessas funções é realizada por meio de processos biológicos desempenhados pela interação entre os diversos organismos edáficos sob a influência de fatores abióticos do solo (Lavelle et al., 2006; Vendrame et al., 2009; Van Leeuwen et al., 2015).

O manejo adotado na área influencia diretamente a diversidade de espécies da fauna edáfica por ocasionar alterações físicas, químicas e biológicas no solo (Silva et al., 2014), e sabe-se que quanto maior a diversidade, melhores são as condições ecológicas da área. A degradação dos ecossistemas altera a distribuição da fauna edáfica por limitar ou extinguir a disponibilidade de recurso alimentar, modificando as interações ecológicas e inviabilizam a sustentabilidade dos sistemas de produção (Carneiro et al., 2009; Gomide et al., 2011).

Os invertebrados edáficos podem ser classificados de acordo com seu papel funcional no solo, como por exemplo, decompositores de matéria orgânica e engenheiros do ecossistema para a macrofauna, que contribuem com serviços de suporte como criação de galerias, influenciando na porosidade do solo; a mesofauna também auxilia na decomposição da matéria orgânica, principalmente na sua mineralização, atua na humificação do solo e apresenta interações com fungos, assim como a microfauna, que regula populações da microbiota e pode afetar os agregados do solo por interagir com essa porção de organismos, além de auxiliarem na mineralização de nutrientes (Coleman; Crossley, 1996; Lavelle, 1997; Brown et al., 2015).

A variação da diversidade desses organismos edáficos é utilizada também como indicador da resiliência do solo e existe uma tendência de que os organismos edáficos respondam de maneira diferenciada aos manejos utilizados no solo e a diversidade de espécies estar diretamente ligada ao regime hídrico e clima de uma região, sendo um

indicador biológico sensível (Aquino, 2005; Rovedder et al., 2009; Brito et al., 2016; Pelosi; Römcke, 2016).

## 1.1. QUESTÕES DE PESQUISA

Existem padrões de dominância de macrofauna e enquitreídeos relativo a grupos, gêneros ou espécies nas áreas avaliadas? Se sim, quais? Quais as categorias ecológicas de minhocas existentes na área de estudo? Existem influências dos atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo na ocorrência desses organismos? Existem influências dos tipos de manejo dos sistemas avaliados na macrofauna? Macrofauna e enquitreídeos podem ser utilizados como bioindicadores da qualidade do solo?

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivos gerais

Avaliar as influências de diferentes usos de solo sobre organismos da fauna edáfica (enquitreídeos e macrofauna) em área de Cerrado.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar a macrofauna a, pelo menos, nível de família;
- Identificar enquitreídeos e minhocas a, pelo menos, nível de gênero;
- Avaliar a existência de efeitos do manejo do solo ao componente biológico;
- Analisar a estrutura da macrofauna edáfica do solo a diferentes profundidades;
- Quantificar a composição física, química e microbiológica de cada sistema de uso do solo;
- Avaliar as relações de enquitreídeos e da macrofauna edáfica com os atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo;
- Classificar ecologicamente os gêneros ou espécies de minhocas encontradas,
- Avaliar a possibilidade de uso de enquitreídeos e minhocas como bioindicadores da qualidade do solo ou de perturbações neste.

Para atingir os objetivos propostos, a pesquisa da presente tese foi estruturada em três capítulos, conforme apresentado a seguir:

**CAPÍTULO 1 - “Macrofauna edáfica em diferentes sistemas de uso do solo em área de Cerrado”**

**CAPÍTULO 2 - “Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado”**

**CAPÍTULO 3 - “Caracterização de Oligochaeta em diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado”**

## 2. METODOLOGIA GERAL

### 2.1. ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi conduzido na área experimental da Embrapa Cerrados, em Planaltina, Distrito Federal (15° 36' S e 47° 42' W). De acordo com o sistema de classificação de Köppen o clima da região é do tipo Aw, com temperaturas médias mínima e máxima de 16,7 °C e 28,5 °C, respectivamente, e precipitação pluvial média anual de 1.500 mm, com pronunciada estação seca nos meses de maio a setembro e estação chuvosa nos meses de outubro a abril. A altitude média da região é de 1.100 m. O solo da área foi caracterizado como Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa.

As áreas avaliadas foram: área de vegetação nativa de Cerradão; Sistema de Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF); Plantio Florestal com *Eucalyptus* sp. clonal (Euc); Sistema Silvopastoril com Leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) Wit) e *Urochloa brizantha* cv. Marandu; Pastagem de *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã, a pleno sol, implantada há três anos do momento da avaliação (Past3), e pastagem contínua de *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã, de baixa produtividade, implantada há seis anos do momento da avaliação (Past6). As características gerais e o histórico das áreas avaliadas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição e histórico dos sistemas de uso de solo (SUS) avaliados, que incluem vegetação natural de Cerradão, Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), plantio de *Eucalyptus* sp., sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha*, pastagem de *Urochloa brizantha* a pleno sol com três anos de idade (Past3) e pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos (Past6).

| SUS      | Descrição   |
|----------|---|
| Cerradão | Vegetação nativa do bioma Cerrado, fitofisionomia Cerradão. Área de 19,4 hectares.  |
| ILPF     | Implantado em 2009 com espécie híbrida de <i>Eucalyptus urophylla</i> X <i>Eucalyptus grandis</i> ( <i>Eucalyptus urograndis</i> , clone GG100) em duas linhas de árvores distanciadas 2 m entre si, espaçamento entre renques de 22 m e pastagem de <i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã. Após o plantio das mudas, foi plantado sorgo ( <i>sorghum bicolor</i> ) em março de 2009 e soja ( <i>Glycine max</i> ) em dezembro do mesmo ano, no sistema de plantio direto com adubação recomendada para a cultura. As linhas de plantio foram dessecadas com glifosato e realizado o controle de formigas na área e em áreas adjacentes. Na implantação, as mudas de eucalipto foram adubadas com 150 g de NPK (0-20-20) na cova. A pastagem está estabelecida desde 2012. Em 2007 a área recebeu doses de 2.000 e 800 kg/ha de calcário e gesso agrícola em cobertura, |

conforme recomendação obtida após análise química do solo. Anteriormente a área era ocupada com pastagens de *Urochloa brizantha* cv. Marandu; *Urochloa brizantha* consorciada com *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão; e *Urochloa brizantha* consorciada com leucena. Área de 1,05 hectares.

- Eucalipto      Implantado em 2012 com clones de *Eucalyptus* sp. e o híbrido *Eucalyptus urograndis*, clone GG100, em duas linhas nas bordaduras, com espaçamento 3x2 m. Em novembro de 2012 foram aplicados 3000 kg/ha de calcário e 1.300 kg/ha de gesso agrícola e, em dezembro, foi realizada adubação a lanço de 500 kg de supersimples e 60 kg de FTE BR12 para o plantio das mudas. Em fevereiro de 2013 foram aplicados 100 g de NPK (6-30-16) + boro por planta. Em fevereiro de 2014 foram aplicados 150 g de NPK (10-10-10) + 10 g de bórax e 10 g de sulfato de zinco e após um ano a adubação foi realizada com 150 g de NPK (15-15-20) e 10 g de bórax por planta. Anteriormente a área era ocupada com pastagens de *Urochloa brizantha* cv. Marandu; *Urochloa brizantha* consorciada com *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão; e *Urochloa brizantha* consorciada com leucena. Área de 0,5 hectares.
- Leucena      Implantado em 2005 com *Leucaena leucocephala* (Lam.) Wit e estabelecimento de pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Marandu em 2009, a leucena recebe três podas anuais. Em 1998 a área recebeu dosagens de 3.500 kg/ha de calcário dolomítico incorporado por gradagem na época seca para implementação de um banco de proteína. Em dezembro do mesmo ano foi realizado plantio de *Urochloa decumbes* consorciado com *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão, com adubação a lanço de 270,8 kg/ha de NPK (4-30-16) + 0,3% de Zn. Em março de 1999 foi iniciado o pastejo por vacas com 4 UA/ha. Em dezembro de 2005 realizou-se o plantio da leucena inoculada com *Rhizobium* sp. e a adubação foi realizada com 80 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 60 kg/ha de K<sub>2</sub>O e 30 kg/ha de FTE. A leucena foi semeada em fileiras duplas com adubação no sulco de plantio de 400 g de NPK (4-30-16) + 0,3% de Zn. Área de 1,6 hectares.
- Past3      Implantada em 2012 com *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã após cultivo de sorgo (2009) e soja (2009 – 2010) no sistema de plantio direto. Anteriormente a área era ocupada com pastagens de *Urochloa brizantha* cv. Marandu; *Urochloa brizantha* consorciada com *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão; e *Urochloa brizantha* consorciada com leucena. Área de 0,9 hectares. Não há registros de calagem ou fertilização.
- Past6      Implantada com *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã na safra 2005/2006 via Integração Lavoura Pecuária (ILP). Desde 2009 não recebe nenhum tipo de manejo, realizado com a utilização de 100 kg/ha de ureia (45 kg/ha de N). Mesmo após seis anos, a pastagem contém teores adequados de C e N no solo, disponibilidade de massa seca de forragem adequada, mas em decréscimo, e produtividade animal mediana. Área de 7,6 hectares.

---

FTE: Fritted Trace Elements.

## REFERÊNCIAS

ABDOLLAHI, L.; HANSEN, E. M.; RICKSON, R. J.; MUNKHOLM, L. J. Overall assessment of soil quality on humid sandy loams: Effects of location, rotation and tillage. **Soil & Tillage Research**, v.145, p.29-36, 2015.

AQUINO, A. M. Fauna do solo e sua inserção na regulação funcional do agroecossistema. In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de (Eds.). **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. 25p.

ASSAD, M. L. L. Fauna do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina, DF: Embrapa CPAC, 1997, 524 p.

BENITO, N.P.; BROSSARD, M.; PASINI, A.; GUIMARÃES, M. de F.; BOBILLIER, B. Transformations of soil macroinvertebrate populations after native vegetation conversion to pasture cultivation (Brazilian Cerrado). **European Journal of Soil Biology**, v.40, p.147-154, 2005.

BERTOSSI, A. P. A.; ROCHA JÚNIOR, P. R.; RIBEIRO, P. H.; MENEZES, J. P. C.; CECÍLIO, R. A.; ANDRADE, F. V. Soil cover and chemical and physical attributes in oxisol in the Atlantic Forest biome. **Revista Árvore**, v.40 n.2, p.219-228, 2016.

BRITO, M. F.; TSUJIGUSHI, B. P.; OTSUBO, A. A.; SILVA, R. F.; MERCANTE, F. M. Diversity of edaphic and epigeic invertebrate fauna in cassava intercropped with green manures. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.3, p.253-260, 2016.

BROSSARD, M.; BARCELLOS, A. O. Conversão do Cerrado em pastagens cultivadas e funcionamento de Latossolos. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.22, n.1, p.153-158, 2005.

BROWN, G. G et al. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: PARRON, L.M.; GARCIA, J.R.; OLIVEIRA, E.B. de; BROWN, G.G.; PRADO, R.B. (Eds.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, 2015. p.121-154.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.147-157, 2009.

COLEMAN, D. C.; CROSSLEY, D. A. **Fundamentals of soil ecology**. London: Academic Press, 1996. 205p.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**: quarto levantamento: janeiro/2016. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_01\\_12\\_09\\_00\\_46\\_boletim\\_graos\\_janeiro\\_2016.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_12_09_00_46_boletim_graos_janeiro_2016.pdf). Acesso em julho de 2016.

GARRIGUES, E.; CORSON, M. S.; ANGERS, D. A.; VAN DER WERF, H. M. G.; WALTER, C. Soil quality in Life Cycle Assessment: Towards development of an indicator. **Ecological Indicators**, v.18, p.434-442, 2012.

GIBBS, H.K.; RAUSCH, L.; MUNGER, J.; SCHELLY, I.; MORTON, D.C.; NOOJIPADY, P.; SOARES-FILHO, B.; BARRETO, P.; MICOL, L.; WALKER, N.F. Brazil's Soy Moratorium. **Science**, v.347, p.377-378, 2015.

GOMIDE, P. H. O.; SILVA, M. L. N.; SOARES, C. R. F. S. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.567-577, 2011.

INPE. **Prevenção e controle do desmatamento**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://combateaodesmatamento.mma.gov.br/>. 2017.

KARLEN, D. L., MAUSBACH, M.J., DORAN, J.W., CLINE, R.G., HARRIS, R.F., SCHUMAN, G.E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.4-10, 1997.

LAVELLE, P. Faunal activities and soil processes: Adaptive strategies that determine ecosystem function. **Advances in Ecological Research**, v.24, n.1, p.93-132, 1997.

LAVELLE, P.; DECAËNS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P.; ROSSI, J. P. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, v.42, p.3-15, 2006.

MCTI. Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas. Disponível em: [http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706739/MCTI\\_TCN\\_SUMARIO+EXECUTIVO\\_port.pdf/7aad0f1d-332b-45b4-9fda-88e9efb049fd](http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706739/MCTI_TCN_SUMARIO+EXECUTIVO_port.pdf/7aad0f1d-332b-45b4-9fda-88e9efb049fd). 2016. Acesso em março de 2018.

MCLEOD, M. L., CLEVELAND, C. C., LEKBERG, Y., MARON, J. L., PHILIPPOT, L., BRU, D. AND CALLAWAY, R. M. Exotic invasive plants increase productivity, abundance of ammonia-oxidizing bacteria and nitrogen availability in intermountain grasslands. **Journal of Ecology**, v.104, n.3, p.994-1002, 2016.

NOOJIPADY, P.; MORTON, D.; MACEDO, M. VICTORIA, D. HUANG, C. GIBBS, H. BOLFE, E. Forest carbon emissions from cropland expansion in the Brazilian Cerrado biome. **Environmental Research Letters**, v.12, p.1-12, 2017.

OLIVEIRA, C. M.; RESK, D. V.; FRIZZAS, M. R. Artrópodes epígeos: dinâmica populacional e influência do sistema de preparo do solo e rotação de culturas. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 2010, 28p.

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

PORTILHO, I. I. R.; CREPALDI, R. A.; BORGES, C. D.; SILVA, R. F.; SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M. Fauna invertebrada e atributos físicos e químicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1310-1320, 2011.

QUEIROZ, J. L.; CASTRO ROCHA, L. M.; REIS, A. S.; SAMPAIO, J. P. S.; SOUSA, W. R. N.; LOPES, F. S. M. S. Análise da mudança da vegetação nativa ocasionada pela expansão agrícola no município de Uruçuí, Piauí. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.6, n.1, p.54-58, 2016.

REIS, T.; RUSSO G.; RIBEIRO, V.; MOUTINHO, P.; GUIMARÃES, A.; STABILE, M.; ALENCAR A.; CRISOSTOMO, A.C; SILVA, D.; SHIMBO, J. **Climate challenges and opportunities in the Brazilian Cerrado**. IPAM: Documentos e Relatórios. 2017. P.11.

ROVEDDER, A. P. M.; ELTZ, F. L. F.; DRESCHER, M. S.; SCHENATO, R. B.; ANTONIOLLI, Z.I. Organismos edáficos como bioindicadores da recuperação de solos degradados por arenização no Bioma Pampa. **Ciência Rural**, v.39, n.4, p.1061-1068, 2009.

SANTOS, C. A. P.; SANO, E. E. Formação da Frente de Expansão, Frente Pioneira e Fronteira Agrícola no Oeste da Bahia. **Boletim de Geografia**, v.33, n.3, p.68-83, 2015.

SILVA, R. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.4, p.697-704, 2006.

SILVA, C. R.; SOUZA, K. B.; FURTADO, W. F. Avaliação do avanço da agricultura intensiva no Cerrado piauiense. **Engevista**, v.16, n.3, p. 432-439, 2014.

STRASSBURG, B.B.N.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEC, A.E.; OLIVEIRA-FILHO, F.J.B.; SCARAMUZZA, C.A.M.; SCARANO, F.R.; SOARES-FILHO, B.; BALMFORD, A. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature ecology & evolution**, v. 1, p.1-3, 2017

VAN LEEUWEN, J. P.; LEHTINEN, T.; LAIR, G. J.; BLOEM, J.; HEMERIK, L.; RAGNARSDÓTTIR, K. V.; GÍSLADÓTTIR, G.; NEWTON, J. S.; DE RUITER, P. C. An ecosystem approach to assess soil quality in organically and conventionally managed farms in Iceland and Austria. **Soil Journal**, v.1, p.83-101, 2015.

VENDRAME, P. R. S.; MARCHÃO, R. L.; BRITO, O. R.; GUIMARÃES, M. F.; BECQUER, T. Relationship between macrofauna, mineralogy and exchangeable calcium and magnesium in Cerrado Oxisols under pasture. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.8, p.996-1001, 2009.

# CAPÍTULO 1

---

## MACROFAUNA EDÁFICA EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO EM ÁREA DE CERRADO

### RESUMO

**Autora:** Angela Pereira Bussinguer

**Orientador:** Alcides Gatto

**Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais**

**Brasília, 30 de maio de 2018**

O objetivo desse estudo foi caracterizar a macrofauna edáfica em sistemas de produção e em área de vegetação nativa de Cerrado no Distrito Federal. O estudo foi conduzido na Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, e os sistemas de uso do solo incluem Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF); pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos após lavoura (Past3); Sistema silvipastoril com *Leucaena leucocephala* e *Urochloa brizantha* (Leu); plantio clonal de *Eucalyptus* sp. (Euc); pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos (Past6) e vegetação nativa de Cerradão (Cer). A amostragem foi realizada em um transecto de acordo com o método TSBF. A macrofauna foi identificada ao nível de famílias e os dados expressos em densidade relativa (ind m<sup>-2</sup>). A densidade foi expressa em percentual por camada para análise da distribuição vertical e também foi realizada uma análise de componentes principais (ACP) entre os componentes da macrofauna e os sistemas de uso da terra. Foram amostrados 84.896 indivíduos, distribuídos entre 14 ordens e 29 famílias e os grupos mais abundantes foram representados por Isoptera, Coleoptera, Oligochaeta e Formicidae. A área de Cerradão se diferenciou pela ACP dos demais tipos de uso do solo e apresentou uma maior diversidade de grupos associados a esse sistema. Para a distribuição vertical, a maior ocorrência da macrofauna foi observada na camada de 0-10 cm de profundidade na maioria das áreas avaliadas, com exceção de Euc e Leu, que apresentaram maior densidade na camada de 10-20 cm. Os sistemas de uso do solo influenciaram a densidade e a composição da fauna edáfica, com uma tendência de simplificação desses organismos em áreas sob monocultivos.

**Palavras-chave:** bioindicadores, invertebrados do solo, qualidade do solo.

## ABSTRACT

**Author: Angela Pereira Bussinguer**

**Advisor: Alcides Gatto**

**Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais**

**Brasilia, May 30th, 2018**

The aim of this study was to characterize the soil macrofauna in production systems and native Cerrado vegetation area in Distrito Federal, Brazil. The study was conducted at Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, and land use systems include integration crop-livestock-forest integration (ICLF); *Urochloa brizantha* pasture with three years after tillage (Past3); Silvopastoral system with *Leucaena leucocephala* and *Urochloa brizantha* (Leu); Clonal *Eucalyptus* sp plantation (Euc); *Urochloa brizantha* pasture with six years (Past6) and native vegetation of Cerradão (Cer). Sampling was performed on a transect according to the TSBF method. Macrofauna was identified at family level and data were expressed as relative density (ind m<sup>-2</sup>). The density was expressed as percentage per layer for analysis of the vertical distribution and a principal component analysis (PCA) was also performed between macrofauna and land use systems. Were sampled 84.846 individuals, distributed among 14 orders and 29 families and the most abundant groups were represented by Isoptera, Coleoptera, Oligochaeta and Formicidae. The area of Cer were differentiated by the PCA from other types of land use and presented a greater diversity of groups associated with this system. For the vertical distribution, the highest occurrence of macrofauna was observed in the 0-10 cm depth layer in most of the evaluated areas, except for Euc and Leu, which presented higher density in the 10-20 cm layer. The land use systems influenced the density and composition of the soil fauna, with a trend of simplification of these organisms in areas under monocultures.

**Keywords:** bioindicators, soil invertebrates, soil quality.

## 1.1. INTRODUÇÃO

A modificação e a degradação dos solos de áreas agrícolas estão relacionadas, principalmente, a alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas, causadas pelo preparo excessivo, assim como pela ausência de uma cobertura morta efetiva na maioria dos manejos adotados (Silva et al., 2014) e a adoção de sistemas conservacionistas pode ser uma alternativa para evitar perdas da biodiversidade, solo, água e nutrientes (Pragana et al., 2012).

A macrofauna do solo inclui os invertebrados com diâmetro corporal maior que 2 mm e 10 mm de comprimento (Swift et al., 1979) e é influenciada tanto pela quantidade quanto pela qualidade do material vegetal presente no solo, além de indicarem suas condições ecológicas (Carrillo et al., 2011).

Os invertebrados edáficos podem ser ainda classificados de acordo com seu papel funcional no solo, como por exemplo, decompositores de matéria orgânica, como besouros, e engenheiros do ecossistema, como minhocas, que contribuem com serviços ecossistêmicos de suporte, como criação de galerias, e influenciam na porosidade do solo, além de contribuírem com a ciclagem de nutrientes e regulação do clima (Coleman; Crossley, 1996; Lavelle, 1997; Brown et al., 2015).

A variação da diversidade desses organismos edáficos é utilizada também como indicador da resiliência do solo e existe uma tendência de que os organismos edáficos respondam de maneira diferenciada aos manejos utilizados no solo, e de que a diversidade de espécies esteja diretamente relacionada ao regime hídrico e clima de uma região, sendo um indicador biológico sensível (Benito et al., 2005; Silva et al., 2006; Rovedder et al., 2009; Brito et al., 2016).

Apesar da biodiversidade dos organismos edáficos ser importante, principalmente pelas funções desempenhadas, ainda há falta de informações sobre as distribuições desses organismos e do impacto de restrições naturais ou causadas pelo homem (Cluzeau et al., 2012). O entendimento e conhecimento da qualidade do solo possibilita a adequação de um manejo eficiente, com a finalidade de manter bases sustentáveis.

São escassos os estudos sobre a fauna edáfica no bioma Cerrado relativos à abundância e diversidade, principalmente em ecossistemas naturais (Vendrame et al., 2009; Portilho et al., 2011; Silveira et al., 2016). Dessa forma, o objetivo do estudo foi caracterizar a macrofauna edáfica em seis diferentes sistemas de uso do solo em área de Cerrado do Distrito Federal.

## **1.2. MATERIAIS E MÉTODO**

### **1.2.1. ÁREA DE ESTUDO**

Ver descrição em Metodologia Geral (páginas 5 e 6).

### **1.2.2. AMOSTRAGEM DA MACROFAUNA**

A coleta da macrofauna foi realizada no final da época chuvosa, na primeira quinzena de abril de 2015, de acordo com o método TSBF (*Tropical Soil Biology and Fertility*) proposto por Anderson; Ingram, (1993). O método consiste da retirada de monólitos de solo com auxílio de um gabarito metálico com as dimensões de 25x25 cm.

Foi amostrada a serapilheira e o monólito de solo correspondente à amostra desta, a 20 cm de profundidade, estratificado em duas camadas (0-10 cm e 10-20 cm). A amostragem foi realizada em cinco pontos equidistantes 10 m entre si, em um transecto dentro das áreas, totalizando 90 amostras para as seis áreas avaliadas, constituídas por 30 amostras de serapilheira, 30 amostras de solo a uma profundidade de 0-10 cm e 30 amostras de solo a uma profundidade de 10-20 cm.

Na área de ILPF os pontos amostrados foram localizados a favor da declividade do terreno e entre dois renques mais centrais, evitando o efeito de borda e de maneira a representar todo o gradiente do sistema, incluindo área com árvores, áreas próximas a estas e áreas com pastagem (Figura 1.1).

Após a coleta, a serapilheira foi armazenada em sacos plásticos individualizados por ponto amostral e por área. O solo também foi acondicionado em sacos plásticos reforçados, identificados por ponto, por área e separados de acordo com a profundidade (0-10 cm ou 10-20 cm). O uso de sacos plásticos tem a finalidade, além de facilitar o transporte, de manter a umidade do material amostrado já que a sobrevivência da fauna é dependente desse fator.

### **1.2.3. TRIAGEM DA MACROFAUNA**

Após a coleta, as amostras individuais de serapilheira ou de solo de cada camada foram dispostas em bandejas plásticas e os organismos da fauna edáfica maiores que 10 mm

foram separados manualmente com auxílio de pinças e lupas de aumento. Os organismos encontrados foram então armazenados em frascos identificados por tipo (solo ou serrapilheira), estrato (0-10 cm ou 10-20 cm) e área de coleta, contendo solução de álcool 99% para minhocas e 70% para demais organismos.

Após a triagem da serrapilheira e do solo, os frascos contendo a macrofauna foram levados para o Laboratório de Nematologia localizado na Embrapa Cerrados para posterior contagem e identificação taxonômica, no mínimo a nível de família. A identificação foi realizada com auxílio de microscópio estereoscópio, pinças e chaves de identificação (Costa et al., 1988; Costa et al.; 2006; Rafael, 2012).



Figura 1.1. Esquema de coleta dos monólitos de solo no sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, equidistantes 10 m entre si, com projeção de um transecto em diagonal e a favor do declive da área.

#### 1.2.4. ATRIBUTOS ECOLÓGICOS

Os resultados foram avaliados por meio da abundância absoluta para cada área, e foram expressos em densidade relativa ( $\text{ind m}^{-2}$ ) e riqueza (S) relativa ao número total de famílias observadas. A densidade relativa foi calculada a partir da média das coletas por cada sistema de uso do solo avaliado.

Foi calculada a distribuição vertical para cada área, a partir das médias das cinco repetições de cada sistema em cada camada (serapilheira e solo a 0-10 m e 10-20 m de profundidade) e expressa em porcentagem.

#### 1.2.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Foi realizada análise multivariada de componentes principais (PCA) com a finalidade de correlacionar os sistemas de uso do solo e os atributos biológicos e com o objetivo de identificar a influência do manejo na diferenciação de cada área avaliada e explicar a variabilidade dentro de cada conjunto de dados, bem como a possibilidade de aplicação dos organismos da fauna edáfica como bioindicadores. A PCA foi realizada com o programa CANOCO, versão 4.5 (Ter Braak; Smilauer, 2002).

## 1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1.3.1. DENSIDADE E RIQUEZA

A soma da densidade relativa da macrofauna edáfica quantificada nos seis sistemas de uso do solo foi de 84.896 indivíduos, com uma média de 14.149 ind m<sup>-2</sup>, distribuídos em 14 ordens e 29 famílias (Tabela 1.1) e os grupos taxonômicos mais abundantes em ordem decrescente de densidade relativa foram Isoptera (74,07%), Coleoptera (9,16%, dos quais 8,27% são representados por indivíduos no estágio larval), Oligochaeta (6,24%), Formicidae (5,22%), Hemiptera (1,68%), Diplopoda (1,15%), Diptera (0,72%), Isopoda (0,66%), Chilopoda (0,47%), Arachnida (0,38%), Gastropoda (0,11%), Orthoptera (0,06%), Blattodea (0,06%) e Dermaptera (0,04%). A ordem Coleoptera é representada por sete famílias e apresentou maior riqueza entre as 14 ordens encontradas.

A abundância encontrada nesse estudo foi superior a outras áreas avaliadas em regiões de Cerrado, utilizando o mesmo método de amostragem e extração, nas quais apresentaram valores entre 695 ind m<sup>-2</sup> em plantio de eucalipto, plantio de café e mata de galeria (Marques et al., 2014), 2.355 ind m<sup>-2</sup> em áreas de Integração Lavoura-Pecuária, de cultivo de grãos e Cerradão (Batista et al., 2014), 5.498 ind m<sup>-2</sup> em sistemas agroflorestais, de agricultura de corte e queima e de floresta nativa de transição entre Cerrado e Caatinga (Lima et al., 2010) e 7.438 ind m<sup>-2</sup> em áreas de Floresta Ombrófila Mista, floresta produtiva de eucalipto, pastagem perene, Integração Lavoura-Pecuária e sistema de plantio direto (Rosa et al., 2015).

Verificaram-se diferenças na estrutura da comunidade de invertebrados em todos os sistemas de uso do solo avaliados (Tabela 1.1). O Cerradão apresentou um total de 28.672 indivíduos, ILPF de 7.152 indivíduos, Pastagem a pleno sol de 12.448 indivíduos, Pastagem de seis anos de 27.456 indivíduos, Leucena de 7.232 indivíduos e, por fim, Eucalipto com 1.936 indivíduos. A riqueza de famílias variou de 12 a 21 (Tabela 1.1), e os resultados encontrados estão de acordo com avaliações realizadas em sistemas no Cerrado, as quais apresentaram amplitudes semelhantes (Aquino et al., 2008).

A ordem Isoptera foi a mais abundante em todos os sistemas avaliados, principalmente no Cerradão e na Pastagem de seis anos, onde contribuíram com 83,3% do total de indivíduos na primeira área e 79,8% na segunda área, com grande ocorrência de minhocas (Oligochaeta) – exceto na área de Eucalipto –, formigas (Formicidae) e

Coleoptera, diferindo entre os sistemas apenas na ordem de representatividade. Esses resultados concordam com avaliações realizadas por Benito et al. (2005), Aquino et al. (2008), Marchão et al. (2009) e Batista et al. (2014), onde os organismos denominados “engenheiros do solo” (cupins, formigas, besouros e minhocas) foram os mais abundantes nos sistemas estudados. Menores populações de Isoptera em áreas cultivadas também foram observadas em outros estudos do Cerrado (Marchão et al., 2008; Marchão et al., 2009), sendo esse grupo mais abundante em áreas nativas de Cerrado e em pastagens, de acordo com Constantino (2005), principalmente devido às práticas de manejo adotadas na implantação de sistemas agrícolas.

A maior abundância de cupins encontrada no Cerradão e na Pastagem de seis anos pode ser devido às práticas culturais empregadas nas demais áreas, capazes de eliminar cupins e formigas, conforme sugerem Batista et al. (2014), ausentes no ambiente natural de Cerradão e na Pastagem de 6 anos, que não é manejada desde 2009, além da influência da quantidade e qualidade de serapilheira presente no Cerradão.

No ILPF, a segunda ordem mais representativa foi a Oligochaeta, com o maior número de indivíduos (1.904 ind m<sup>2</sup>) das áreas amostradas, seguida por Formicidae e Coleoptera. O ILPF foi o sistema que apresentou a maior riqueza, com 21 famílias e 12 ordens, o que difere dos resultados encontrados por Zagatto et al (2017), que verificaram em área com vegetação nativa maior riqueza dessa quando comparada às áreas cultivadas e de ILPF, mas concordam com os dados apresentados pelo autor relativos à grande quantidade de minhocas encontradas nesse sistema.

Os resultados, principalmente relativos à grande densidade de minhocas (Acanthodrilidae e Glossoscolecidae), encontrados no sistema ILPF podem ser devido ao manejo utilizado na área, que favorece a cobertura do solo com aporte da pastagem, raízes e material resultante de podas, criando um microclima favorável para a colonização da macrofauna, o que beneficia a sustentabilidade ecológica desse sistema de produção, conforme sugerido por Gatiboni et al. (2009) e Lima et al. (2010).

No Cerradão, Formicidae foi a segunda família mais representativa, seguida por Coleoptera e Oligochaeta e apresentou a segunda maior riqueza entre as áreas avaliadas, com 19 famílias e 10 ordens. Esse resultado concorda com o obtido por Lima et al. (2010), ao avaliarem sistemas agroflorestais com três, seis e 10 anos de idade, área de agricultura de corte e queima e floresta nativa de transição entre Cerrado e Caatinga. Esses autores observaram que a floresta apresentou a menor riqueza em duas épocas de avaliação.

Tabela 1.1. Densidade (ind m<sup>-2</sup>) e riqueza de grupos taxonômicos da macrofauna edáfica na camada de 0-20 cm de profundidade, em área natural de Cerradão (Cer), áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), pastagem de *Urochloa brizantha* a Pleno Sol com três anos (Past3), pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade (Past6), sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* (Leu) e plantio de *Eucalyptus* sp. (Euc).

| Classe                    | Ordem             | Família            | Sistema |       |        |        |       |       |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------|-------|--------|--------|-------|-------|
|                           |                   |                    | Cer     | ILPF  | Past3  | Past6  | Leu   | Euc   |
| Arachnida                 | Araneae           | Theridiidae        | 96      | 16    | 16     | 16     | 64    | 80    |
|                           |                   | Lycosoidea         |         | 32    |        |        |       |       |
|                           | Coleoptera        | Carabidae          | 160     | 16    | 32     | 48     | 32    |       |
|                           |                   | Scarabaeidae       | 32      |       |        |        | 16    |       |
|                           |                   | Staphylinidae      | 336     |       | 64     | 352    | 112   | 64    |
|                           |                   | Melolonthidae      | 208     | 416   | 1680   | 848    | 880   | 160   |
|                           |                   | Chrysomelidae      | 32      | 64    | 224    | 272    | 240   | 48    |
|                           |                   | Elateridae         | 784     | 32    | 64     | 256    | 32    | 16    |
|                           |                   | Coccinellidae      |         |       |        |        | 16    |       |
|                           | Hemiptera         | Reduviidae         |         | 16    |        |        |       |       |
| Pentatomidae              |                   |                    | 32      |       | 64     |        |       |       |
| Cydnidae                  |                   |                    |         |       | 1.312  |        |       |       |
| Insecta                   | Formicidae        | Formicidae         | 2.544   | 688   | 96     | 816    | 112   | 192   |
|                           | Isoptera          | Termitidae         | 23.232  | 3.088 | 8112   | 21.728 | 4.832 | 816   |
|                           |                   | Rhinotermitidae    | 640     | 32    | 80     | 48     |       |       |
|                           |                   | Mastotermitidae    | 16      | 16    | 32     | 48     |       | 32    |
|                           |                   | Serritermitidae    |         | 16    |        | 96     | 16    |       |
|                           | Blattodea         | Blaberidae         | 32      |       |        |        |       |       |
|                           |                   | Blattidae          | 16      |       |        |        |       |       |
|                           | Orthoptera        | Gryllidea          |         | 48    |        |        |       |       |
|                           | Dermaptera        | Anisolabididae     | 16      |       | 16     |        |       |       |
|                           | Diptera           | Muscidae           | 96      | 80    | 80     | 112    | 80    | 64    |
| Asilidae                  |                   | 32                 | 16      | 48    |        |        |       |       |
| Chilopoda                 | Scolopendromorpha | Scolopocryptopidae | 96      | 80    | 16     |        | 112   | 96    |
| Diplopoda                 | Polydesmida       | Polydesmidae       |         | 320   | 48     | 48     | 224   | 288   |
| Oligochaeta               | Haplotaxida       | Acanthodrilidae    |         | 1.904 | 1.392  | 672    | 432   |       |
|                           |                   | Glossoscolecidae   | 160     |       |        | 720    | 16    |       |
| Gastropoda                | Pulmonata         | Planorbidae        |         | 64    | 32     |        |       |       |
| Isopoda                   | Isopoda           | Porcellionidae     | 144     | 176   | 192    |        | 16    | 32    |
| Soma da densidade         |                   |                    | 28.672  | 7.152 | 12.448 | 28.672 | 7.232 | 1.936 |
| Riqueza total de famílias |                   |                    | 19      | 21    | 18     | 19     | 17    | 12    |

Os resultados concordam ainda com os obtidos por Marchão et al. (2009), ao estudarem lavouras contínuas de culturas anuais, pastagem contínua e a mesma área de

Cerradão avaliada nesse estudo, onde os autores encontraram maior riqueza para as áreas de culturas. Entretanto, deve-se atentar que a caracterização da macrofauna foi realizada até o nível de famílias e, caso fosse realizada a nível de gêneros ou espécies, o panorama encontrado poderia ser diferente para a riqueza de cada sistema de uso do solo.

Embora a área de ILPF tenha apresentado maior riqueza, a área de Cerradão possui maior diversidade florística, o que possibilita maiores diversidade e qualidade de materiais orgânicos, fonte de alimento para a fauna, e, conseqüentemente, maior estabilidade para os diversos organismos. Favorece, ainda, a presença de predadores mais ativos, uma vez que algumas espécies de minhocas, formigas e cupins são mais generalistas e necessitam basicamente de boa estrutura do solo, do ponto de vista físico, indicando que áreas agrícolas dificilmente terão redes tróficas complexas como em áreas naturais, principalmente devido ao uso de defensivos agrícolas (Rosa et al., 2015).

Na área de Pastagem de três anos, depois de Isoptera, as maiores representatividades foram observadas para Coleoptera, com o maior número de indivíduos de todas as áreas avaliadas (1.776 ind m<sup>-2</sup>), Oligochaeta e Isopoda e apresentou uma riqueza de 18 famílias e 11 ordens. Em estudo avaliando pastagem nativa com manejo de queima controlada a cada dois anos, Rosa et al. (2015) encontraram como grupos dominantes Formicidae, Isoptera, Coleoptera, Diptera e Oligochaeta, sendo a pastagem menor em valor de riqueza apenas para as áreas de Floresta Ombrófila Mista e de floresta produtiva de eucalipto, também avaliados no estudo.

Na área de Pastagem de seis anos, o destaque da segunda ordem foi observado para Coleoptera, seguida por Oligochaeta e Hemiptera, com 17 famílias e 8 ordens. Silva et al. (2011), avaliando pastagem contínua de *Urochloa decumbens* em Dourados, MS, observaram ambiente edáfico biologicamente mais ativo nessa área e em área de Integração Lavoura-Pecuária com sistema de plantio direto quando comparada a um sistema de monocultura com sistema convencional de preparo do solo; a pastagem contínua apresentou uma riqueza de 15 grupos taxonômicos.

A ordem Hemiptera, dominante apenas na Pastagem de seis anos foi representada em sua totalidade de indivíduos pela família Cydnidae, que tem como principal correspondente o percevejo-castanho, inseto causador de danos às culturas de grãos e pastagens (Ávila et al., 2016). Conforme sugerem Garlet et al. (2013), sistemas conduzidos em monoculturas, em rotações sucessivas, por fornecerem apenas um substrato alimentar e simplificarem o ecossistema, podem ocasionar o surgimento de espécies-praga, capazes de se desenvolverem desordenadamente e causar danos econômicos às produções.

Na área de Leucena, os grupos mais representativos após Isoptera foram, em ordem de densidade, Coleoptera, Oligochaeta e Diplopoda e esse sistema apresentou uma riqueza de 17 famílias e 9 ordens. Com o objetivo de avaliar o efeito de três leguminosas arbóreas, sendo uma não fixadora de N atmosférico, e uma pastagem de capim híbrido de Digitaria, Dias et al. (2006) observaram riquezas diferentes, mas composição semelhantes a esse estudo, tendo como grupo mais abundante em todos os tratamentos Formicidae, seguido por Oligochaeta e Coleoptera nos tratamentos com as espécies leguminosas, que também apresentaram maiores riquezas (de 13 a 18) em comparação à pastagem (8).

Na área de Eucalipto, a segunda ordem com maior número de indivíduos foi Diplopoda, seguida por Coleoptera e Formicidae. Não foi observada ocorrência de minhocas e a riqueza encontrada foi a menor dentre as áreas avaliadas, com 12 famílias e 8 ordens. Em estudo realizado em Minas Gerais em área de eucalipto com 14 anos, o grupo mais representativo foi Oligochaeta, seguido por Formicidae, Coleoptera e com baixa representatividade de Isoptera, diferindo dos resultados apresentados e com uma riqueza total de 9 famílias (Marques et al., 2014).

A não ocorrência de Oligochaeta em áreas de *Eucalyptus dunnii* de 20 anos foi relatada por Zagatto et al. (2017), tendo como grupos mais representativos Formicidae e Coleoptera e riqueza de 9 unidades taxonômicas. A redução da densidade e riqueza do sistema avaliado nesse estudo, quando comparado às demais áreas, pode ser resultante, além de ser um monocultivo, das práticas de manejo utilizadas no momento da implantação do plantio, como o uso de defensivos agrícolas, favorecendo alguns grupos da fauna edáfica e suprimindo a presença de outros.

### 1.3.2. DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DA MACROFAUNA

Na avaliação da distribuição vertical da fauna edáfica observou-se maior ocorrência da macrofauna no solo, na camada de 0-10 cm de profundidade, em comparação à serapilheira e à profundidade de 10-20 cm, na maioria das áreas avaliadas, com exceção para o Eucalipto e a Leucena, nos quais a maior densidade de indivíduos ocorreu no solo, na camada de 10-20 cm (Figura 1.2), resultados também encontrados por Marchão et al. (2009), e Batista et al. (2014), ao realizarem avaliações em Latossolos do Cerrado até à profundidade

de 30 cm, nas quais observaram maior ocorrência de macrofauna edáfica nas camadas superficiais (0-10 cm).

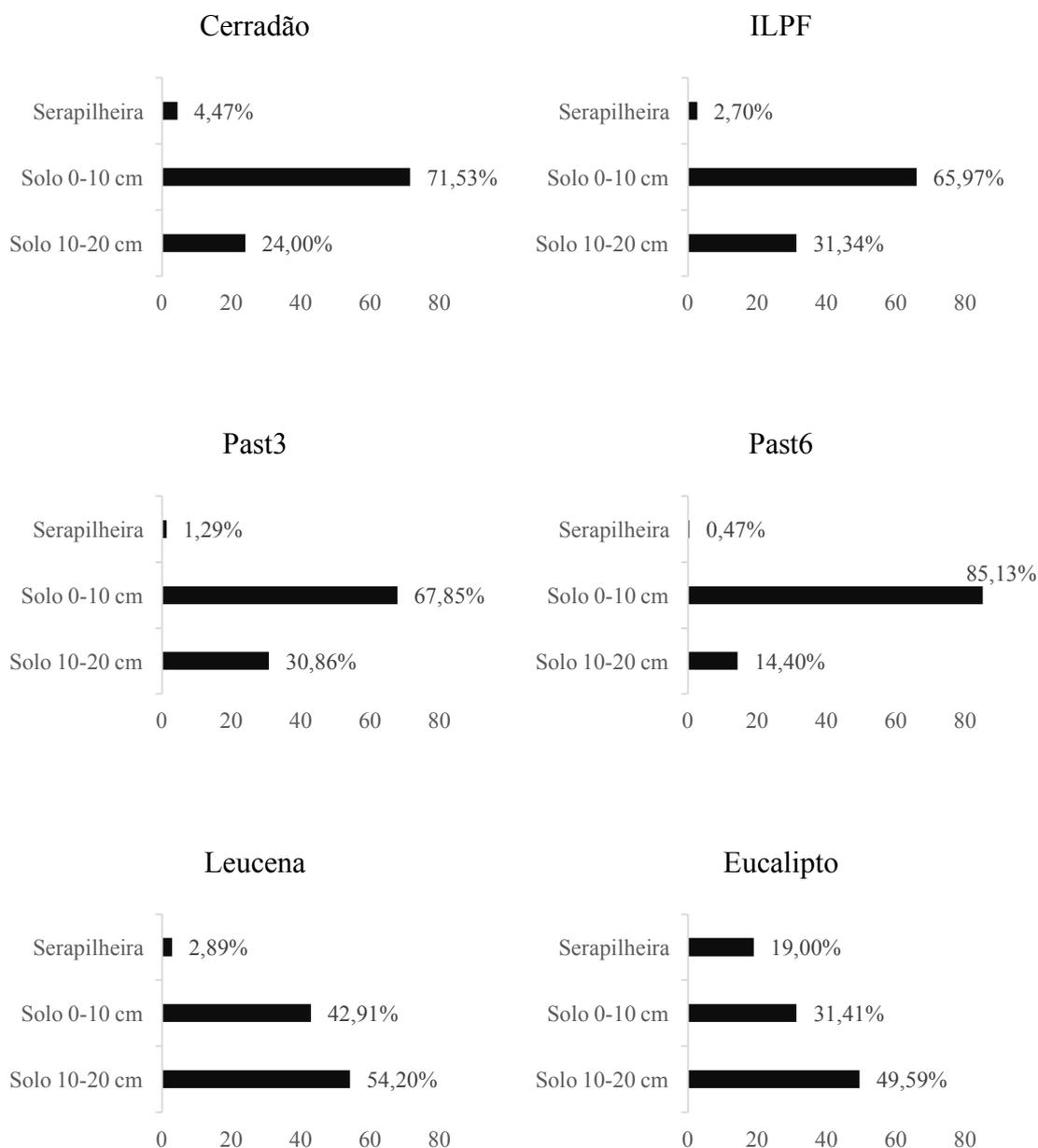


Figura 1.2. Densidade relativa da macrofauna edáfica em porcentagem em sua distribuição vertical em camadas de serapilheira e solo a 0-10 cm e 10-20 cm, em vegetação natural de Cerradão, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), pastagem de *Urochloa brizantha* a Pleno Sol com três anos (Past3), Pastagem de *Urochloa brizantha* Piatã de 6 anos (Past6), sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio clonal de *Eucalyptus* sp.

As áreas de Pastagem de seis anos e Cerradão apresentaram as maiores frequências de indivíduos na camada de 0-10 cm de profundidade, com 85,13% e 71,53% do total de

indivíduos amostrados, respectivamente, e a menor frequência foi observada para Euc, com 31,41%.

A serapilheira apresentou, em geral, baixa ocorrência de organismos em todos os sistemas, com destaque para Pastagem de seis anos, com apenas 0,47% do total de indivíduos, e para Eucalipto, que apresentou a maior frequência, com 19% do total de organismos concentrado nessa porção. Na camada de 10-20 m, as menores frequências foram encontradas para Pastagem de seis anos (14,40%) e para Cerradão (24%).

Os grupos mais frequentes da serapilheira foram Formicidae para as áreas de ILPF, Eucalipto e Pastagem de seis anos; Isoptera para as áreas de Pastagem de três anos e Cerradão, e Coleoptera para Leucena, e todos os organismos citados são representados por organismos classificados por grupos funcionais como detritívoro/decompositor, o que justifica sua presença na camada avaliada.

No solo, na camada de 0-10 cm, os destaques foram para Oligochaeta (ILPF), Isoptera (Pastagem de três anos, Leucena, Cerradão e Pastagem de seis anos) e Diplopoda (Eucalipto), concordando com os resultados encontrados por Batista et al. (2014), com representantes de geófago/bioturbador para Oligochaeta e Isoptera, auxiliando na estrutura do solo, e detritívoro/decompositor para as três ordens. Já na camada de 10-20 cm, as maiores ocorrências foram observadas para Isoptera, em todos os sistemas avaliados, seguidas por Formicidae (ILPF, Eucalipto e Cerradão), Coleoptera (Pastagem de três anos e Leucena), os principais representantes de engenheiros do solo, e Hemiptera (Pastagem de seis anos), caracterizada como detritívoro/decompositor ou fitófago/praga.

Maiores densidades de indivíduos na camada de 10-20 cm em plantio de Eucalipto também foram encontradas por Zagatto et al. (2017), devido à grande quantidade da ordem Formicidae, corroborando o resultado encontrado nesse estudo.

A área que apresentou maior riqueza na serapilheira foi a de Pastagem de três anos, com oito ordens, seguida por Cerradão e Eucalipto, com seis ordens cada, ILPF com quatro e Pastagem de seis anos com duas. No solo, na profundidade de 0-10 cm, a área que apresentou maior riqueza foi a de ILPF (11), seguida pela área de Cerradão (10), Leucena (9), Pastagem de três anos e Pastagem de seis anos (8) e Eucalipto teve o menor número de representantes da macrofauna, em densidade e em riqueza, com cinco ordens. Na camada de 10-20 cm, as maiores riquezas foram observadas para Pastagem de três anos e Leucena, com sete ordens cada, ILPF e Cerradão com seis ordens cada, Pastagem de seis anos com cinco e Eucalipto com quatro ordens.

Em termos gerais, verificou-se que a maioria dos macroinvertebrados do solo se concentraram na camada de 0-20 cm e são representados em sua maioria por grupos especializados em bioturbação, criação de estruturas biogênicas, garantindo a estabilidade do solo (Marchão et al., 2009), além de decomposição da matéria orgânica, podendo ser classificados como geófago/bioturbador, de acordo com Brown et al. (2015).

Na área de Cerradão, embora tenha apresentado menor riqueza em todas as camadas avaliadas considerando a distribuição vertical, não foram observadas a presença de Hemiptera, Orthoptera, Diplopoda e Gastropoda em nenhuma das avaliações. Esses organismos podem ser classificados como fitófago/praga; também foram observadas nas camadas a presença de ordens, algumas em maior densidade que nos demais sistemas avaliados, que podem incluir representantes da classificação predador/parasita (Arachnida, Coleoptera, Formicidae e Diptera) (Brown et al., 2015), o que pode indicar um ecossistema mais equilibrado em relação aos demais.

### 1.3.3. COMPARAÇÃO DOS DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO CONSIDERANDO PADRÕES DA MACROFAUNA

A análise de componentes principais (PCA) diferenciou os sistemas de uso do solo, por meio da abundância da macrofauna edáfica. O primeiro eixo da componente principal (PC1) explica 20,7% da variabilidade dos dados, o segundo eixo da componente principal (PC2) é responsável por explicar 15,8% e, juntos, explicam 36,5% da variabilidade total entre os sistemas de uso do solo avaliados (Figura 1.3).

Pode-se inferir por meio da PCA que as diferenças relativas à distribuição da macrofauna estão ligadas aos sistemas, apresentando menor diferenciação entre as áreas que receberam algum tipo de manejo, independente da época, todas localizadas no PC2, principalmente devido à separação do Cerradão dos demais sistemas, apresentando melhores condições para o desenvolvimento de grupos edáficos mais diversos quando comparados a outros sistemas, como pode-se observar pela presença de Blattodea (exclusivo desse sistema), Coleoptera adultos, Formicidae, Isoptera, Isopoda e Araneae, podendo, ainda, estarem relacionadas aos menores teores de nutrientes, maiores teores de matéria orgânica do solo e demais condições químicas e físicas, presentes na área natural, conforme resultados de Rosa et al. (2015) e Bartz et al. (2014).

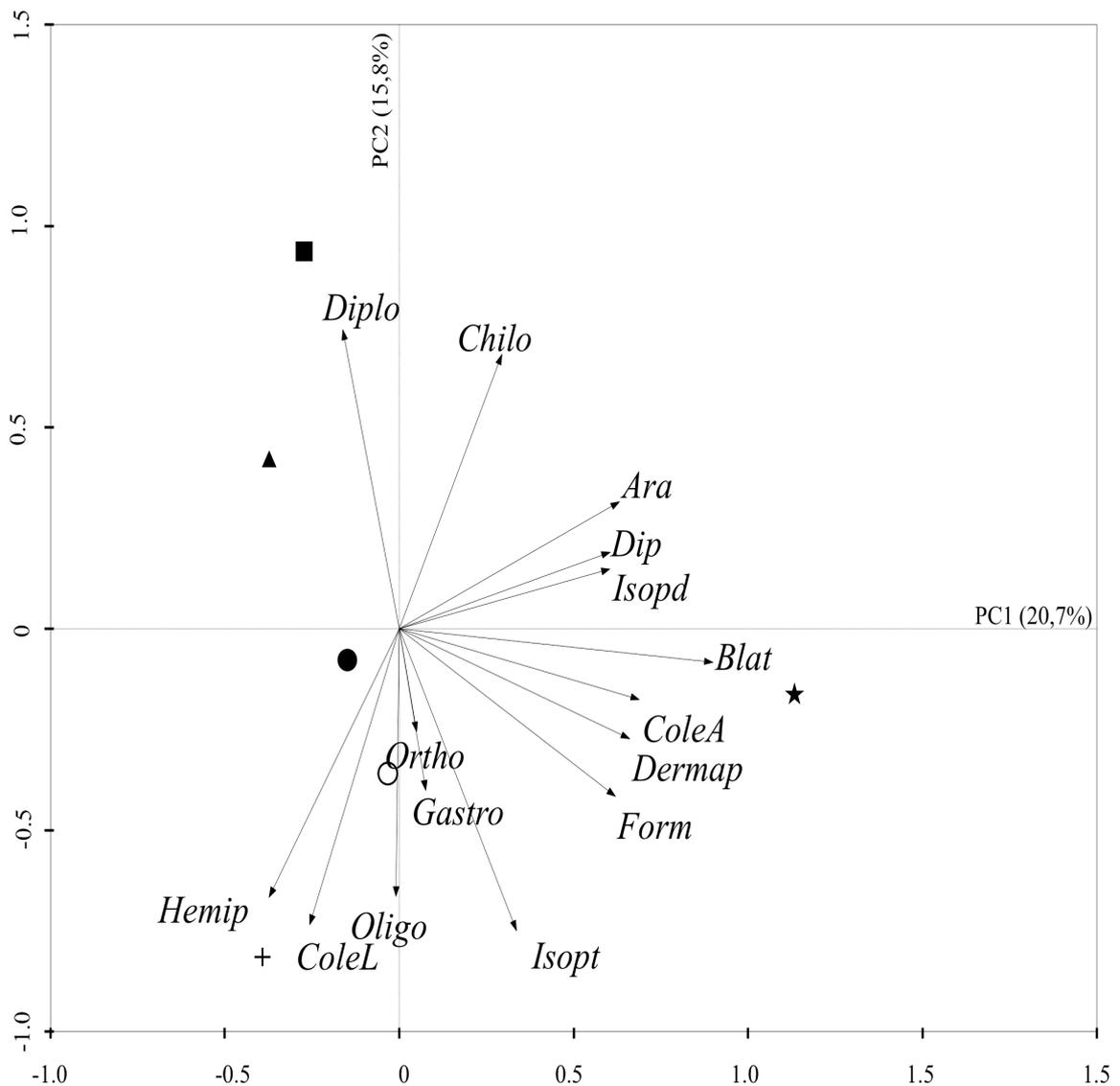


Figura 1.3. Análise de componentes principais (PCA) entre grupos da macrofauna edáfica e sistemas de uso do solo em vegetação natural de Cerradão (Cer), Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), pastagem de *Urochloa brizantha* a Pleno Sol com três anos (Past3), Pastagem de *Urochloa brizantha* de 6 anos (Past6), sistema silvipastoril de *Leucena* com *Urochloa brizantha* (Leu) e plantio clonal de *Eucalyptus* sp. (Euc). Em itálico os grupos da macrofauna: Isoptera (Isopt); Blattodea (Blat); Formicidae (Form); Coleoptera larva (ColeoL); Coleoptera adulto (ColeoA); Araneae (Aran); Isopoda (Isopd); Dermaptera (Dermap); Gastropoda (Gastro); Chilopoda (Chilo); Diplopoda (Diplo); Orthoptera (Ortho); Oligochaeta (Oligo); Diptera (Dip); Hemiptera (Hemip).  
 ★ Cer, ● ILPF, ○ Past3, + Past6, ▲ Leu e ■ Euc.

*Eucalipto* e *Leucena* foram mais associados a Diplopoda e Chilopoda, considerados como detritívoros/decompositores e geófago/bioturbadores, respectivamente, e, em menor intensidade a Araneae para *Eucalipto*, ordem cujos indivíduos são considerados como predadores/parasitas (Brown et al., 2015).

Os vetores demonstram menor diferenciação entre os sistemas com pastagem: ILPF, Pastagem de três anos e Pastagem de seis anos, mais associados a grupos como Hemiptera (exclusivos de ILPF e Pastagem de seis anos), classificado como detritívoro/decompositor ou fitófago/praga, Coleoptera larva, Orthoptera (exclusivo de ILPF) e Gastropoda (exclusivos de ILPF e Pastagem de três anos), todos considerados em sua maioria como detritívoro/decompositor, e Oligochaeta, classe com indivíduos considerados como geófagos/bioturbadores e também como detritívoros/decompositores (Brown et al., 2015).

## 1.4. CONCLUSÕES

- Os sistemas de uso do solo influenciaram a densidade e a composição da macrofauna edáfica, com uma tendência de simplificação desses organismos em áreas sob monocultivos, possibilitando a utilização dos mesmos como indicador da qualidade do solo.
- Na análise multivariada dos dados, houve uma diferenciação da área natural de Cerradão em termos de abundância da macrofauna e mais grupos estão associados a esse sistema, indicando maior diversidade de funções ecológicas.
- O sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta favoreceu a presença de um ecossistema mais rico em termos totais de famílias e ordens quando comparado às demais áreas avaliadas para o componente da macrofauna.
- De maneira geral, a maior abundância de fauna edáfica nos sistemas avaliados foi representada por indivíduos que podem ser classificados como geófago/bioturbador ou detritívoro/decompositor e que, devido às funções que exercem no ecossistema, contribuem positivamente para a estrutura do solo ou para o processo de ciclagem de nutrientes, respectivamente.

## REFERÊNCIAS

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. I. 1993. **Tropical Soil Biology and Fertility, a handbook of methods**. 2ed. Wallingford: CAB, 1993, 221p.

AQUINO, A. M. Fauna do solo e sua inserção na regulação funcional do agroecossistema. In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de (Eds.). **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. 25p.

AQUINO, A. M.; SILVA, R. F.; MERCANTE, F. M.; CORREIA, M. E. F. C.; GUIMARÃES, M. F.; LAVELLE, P. Invertebrate soil macrofauna under diferente ground cover plants in the no-till system in the Cerrado. **European Journal of Soil Biology**, n.44, p.191-197, 2008.

ÁVILA, C.; XAVIER, L. M. S.; SANTOS, V. Fluctuation and vertical distribution of a population of brown root stink bug *Scaptocoris castanea* (Hemiptera: *Cydnidae*) in the soil profile in Mato Grosso do Sul State, Brazil. **Entomotropica**, v.31, n.5, p.40-47, 2016.

BARTZ, M. L. C.; BROWN, G. G.; ORSO, R.; MAFRA, A. L.; BARETTA, D. The influence of land use systems on soil and surface litter fauna in the western region of Santa Catarina. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, n.5, p.880-887, 2014.

BATISTA, I.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J. A.; ROUWS, J. R. C. Frações oxidáveis do carbono orgânico total e macrofauna edáfica em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.797-809, 2014.

BENITO, N.P.; BROSSARD, M.; PASINI, A.; GUIMARÃES, M. de F.; BOBILLIER, B. Transformations of soil macroinvertebrate populations after native vegetation conversion to pasture cultivation (Brazilian Cerrado). **European Journal of Soil Biology**, v.40, p.147-154, 2005.

BRITO, M. F.; TSUJIGUSHI, B. P.; OTSUBO, A. A.; SILVA, R. F.; MERCANTE, F. M. Diversity of edaphic and epigeic invertebrate fauna in cassava intercropped with green manures. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.3, p.253-260, 2016.

BROWN, G. G et al. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: PARRON, L.M.; GARCIA, J.R.; OLIVEIRA, E.B. de; BROWN, G.G.; PRADO, R.B. (Eds.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, 2015. p.121-154.

CARRILLO, Y.; BALL, B.A.; BRADFORD, M.A.; JORDAN, C.F.; MOLINA, M. Soil fauna alter the effects of litter composition on nitrogen mineral soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.43, p.1440-1449, 2011.

CLUZEAU, D.; GUERNION, M.; CHAUSSOD, R.; MARTIN-LAURENT, F.; VILLENAVE, C.; CORTET, J.; RUIZ-CAMACHO, N.; PERNIN, C.; MATEILLE, T.; PHILIPPOT, L.; BELLIDO, A.; ROUGÉ, L.; ARROUAYS, D.; BISPO, A.; PÉRÈS, G.

Integration of biodiversity in soil quality monitoring: Baselines for microbial and soil fauna parameters for different land-use types. **European Journal of Soil Biology**, v.49, p.63-72, 2012.

COLEMAN, D. C.; CROSSLEY, D. A. **Fundamentals of soil ecology**. London: Academic Press, 1996. 205p.

CONSTANTINO, R. Padrões de diversidade e endemismo de térmitas no bioma Cerrado. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J.C.; FELFILI, J.M. (Org.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p.319-333.

COSTA, C.; VANIN, S. A.; CASARI-CHEN, S. A. **Larvas de Coleoptera do Brasil**. São Paulo: Museu de Zoologia e Universidade de São Paulo, 282p, 1988.

COSTA, C.; IDE, S.; SIMONKA, C. E. **Insetos Imaturos. Metamorfose e identificação**. Ribeirão Preto: Holos, Editora. 249 p., 2006.

DIAS, P. F.; SOUTO, S. M.; CORREIA, M. E. F.; ROCHA, G. P.; MOREIRA, J. F.; RODRIGUES, K. M.; FRANCO, A. A. Árvores fixadoras de nitrogênio e macrofauna do solo em pastagem de híbrido de *Digitaria*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.6, p.1015-1021, 2006.

GARLET, J.; COSTA, E. C.; BOSCARDIN, J. Caracterização da fauna edáfica em plantios de *Eucalyptus* spp. **Ciência Florestal**, v.23, n.3, p. 337-344, 2013.

GATIBONI, L. C.; COIMBRA, J. L. M.; WILDNER, L. P.; DENARDIN, R. B. N. Modificações na fauna edáfica durante a decomposição da palhada de centeio e aveia preta, em sistema plantio direto. **Revista Biotemas**, v.22, n.2, p. 45-53, 2009.

LAVELLE, P. Faunal activities and soil processes: Adaptive strategies that determine ecosystem function. **Advances in Ecological Research**, v.24, n.1, p.93-132, 1997.

LIMA, S. S.; AQUINO, A. M.; LEITE, L. F. C.; VELÁSQUEZ, E.; LAVELLE, P. Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes agroecossistemas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.3, p.322-331, 2010.

MARCHÃO, R. L.; VILELA, L.; SANTOS JUNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; BERGAMASCHI, L. C.; BORTONCELLO, L. R. **Impactos de sistemas agrícolas nos atributos físicos, químicos e macrofauna num Latossolo do Oeste Baiano**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. 30p.

MARCHÃO, R. L.; LAVELLE, P.; CELINI, L.; BALBINO, L. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Soil macrofauna under integrated crop- livestock systems in a Brazilian Cerrado Ferralsol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.8, p.1011-1020, 2009.

MARQUES, D. M.; SILVA, A. B.; SILVA, L. M.; MOREIRA, E. A.; PINTO, G. S. Macrofauna edáfica em diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**, v.30, n.5, p. 1588-1597, 2014.

PORTILHO, I. I. R.; CREPALDI, R. A.; BORGES, C. D.; SILVA, R. F.; SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M. Fauna invertebrada e atributos físicos e químicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1310-1320, 2011.

PRAGANA, R.B.; RIBEIRO, M.R.; NÓBREGA, J.C.A.; RIBEIRO FILHO, M.R.; COSTA, J.A. da. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1591-1600, 2012.

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

RAFAEL, J. A. Chave para as ordens (adultos). In: RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, J. B.; CASARI, S. A.; CONSTANTINO, R. (Eds.). **Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia**. Ribeirão Preto: Halos, Editora, 2012. P.191-196.

ROVEDDER, A. P. M.; ELTZ, F. L. F.; DRESCHER, M. S.; SCHENATO, R. B.; ANTONIOLLI, Z.I. Organismos edáficos como bioindicadores da recuperação de solos degradados por arenização no Bioma Pampa. **Ciência Rural**, v.39, n.4, p.1061-1068, 2009.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BALBINO, L. C. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.1, p.115-122, 2008.

SILVA, R. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.4, p.697-704, 2006.

SILVA, R. F.; GUIMARÃES, M. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1277-1283, 2011.

SILVA, C. R.; SOUZA, K. B.; FURTADO, W. F. Avaliação do avanço da agricultura intensiva no Cerrado piauiense. **Engevista**, v.16, n.3, p. 432-439, 2014.

SILVEIRA, E. R.; PELISSARI, A.; MORAES, A.; JAMHOUR, J. Diversidade e papel funcional da macrofauna do solo na Integração Lavoura-Pecuária. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, 4ª ed., p.1-16, 2016.

SWIFT, M.J.; HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Oxford: Blackwell, 1979. 372p. (Studies in ecology, 5).

TER BRAAK, C.J.F.; SMILAUER, P. 2002. **CANOCO Reference manual and Cano Draw for Windows user's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5)**. Ithaca, Microcomputer Power, 2002, 500p.

VENDRAME, P. R. S.; MARCHÃO, R. L.; BRITO, O. R.; GUIMARÃES, M. F.; BECQUER, T. Relationship between macrofauna, mineralogy and exchangeable calcium

and magnesium in Cerrado Oxisols under pasture. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.8, p.996-1001, 2009.

ZAGATTO, M. R. G.; NIVA, C. C.; THOMAZINI, M. J.; BARETTA, D.; SANTOS, A.; NADOLNY, H.; CARDOSO, G. B. X.; BROWN, G. G. Soil Invertebrates in Different Land Use Systems: How Integrated Production Systems and Seasonality Affect Soil Mesofauna Communities. **Journal of Agricultural Science and Technology B**, v. 7, p. 158-169, 2017.

## CAPÍTULO 2

# ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO NO CERRADO

### RESUMO

**Autora:** Angela Pereira Bussinguer

**Orientador:** Alcides Gatto

**Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais**

**Brasília, 30 de maio de 2018**

O objetivo desse estudo foi avaliar as relações entre a macrofauna edáfica e as características físicas, químicas e microbiológicas do solo em sistemas de produção e em área de vegetação nativa de Cerrado no Distrito Federal. O estudo foi conduzido na Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, e os sistemas de uso da terra (SUS) incluem Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF); pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos após lavoura (Past3); Sistema silvipastoril com *Urochloa leucocephala* e *Urochloa brizantha* (Leu); plantio clonal de *Eucalyptus* sp. (Euc); pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos (Past6) e vegetação nativa de Cerradão (Cer). Os atributos físicos mensurados foram densidade do solo, volume total de poros, microporosidade, macroporosidade e condutividade hidráulica saturada. Os atributos químicos foram pH, matéria orgânica do solo, os teores de Al trocável, acidez potencial, Ca, Mg, P, K, C, N e a relação C:N. Os atributos microbiológicos mensurados foram a atividade enzimática da fosfatase ácida e as biomassas microbianas do C e do N. A amostragem da macrofauna foi realizada em um transecto de acordo com o método TSBF. A macrofauna foi identificada ao nível de famílias e os dados expressos em densidade relativa (ind m<sup>-2</sup>) e riqueza. As médias dos atributos físicos, químicos e biológicos foram comparadas pelo teste de Tukey (p<0,01) e utilizados boxplots para analisar a normalidade da distribuição dos dados em cada SUS. Para avaliar as correlações entre os atributos do solo e a macrofauna foi realizada uma análise multivariada de componentes principais. Foram amostrados 84.896 ind m<sup>-2</sup>, distribuídos entre 14 ordens e 29 famílias. A área de Cer se diferenciou dos demais tipos de uso do solo. Verificou-se que os atributos químicos e microbiológicos estão relacionados à abundância e à riqueza dos grupos da macrofauna, mas não foram observadas influências significativas para os atributos físicos. Os sistemas de uso do solo influenciaram a densidade e a composição da fauna edáfica, além de promover modificações em grande parte dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos do solo.

**Palavras-chave:** macrofauna, microbiologia, invertebrados do solo, qualidade do solo, manejo do solo.

## ABSTRACT

**Author: Angela Pereira Bussinguer**

**Advisor: Alcides Gatto**

**Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais**

**Brasilia, May 30th, 2018**

The aim of this study was to evaluate the relationships between the soil macrofauna and the physical, chemical and microbiological characteristics of the soil in production systems and native vegetation area of Cerrado in Distrito Federal, Brazil. The study was conducted at Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, and land use systems (LUS) include integration crop-livestock-forest integration (ICLF); *Urochloa brizantha* pasture with three years after tillage (Past3); Silvipastoral system with *Leucaena leucocephala* and *Urochloa brizantha* (Leu); Clonal *Eucalyptus sp.* plantation (Euc); *Urochloa brizantha* pasture with six years (Past6) and native vegetation of Cerradão (Cer). The physical properties measured were bulk density, total pore volume, microporosity, macroporosity and saturated hydraulic conductivity. The chemical attributes were pH, soil organic matter, Al exchangeable contents, potential acidity, Ca, Mg, P, K, C, N and the C:N ratio. The microbiological attributes measured were the enzymatic activity of acid phosphatase and the microbial biomasses of C and N. Sampling was performed on a transect according to the TSBF method. Macrofauna was identified at family level and data were expressed as relative density (individuals m<sup>-2</sup>) and richness. The averages physical, chemical and biological attributes were compared using the Tukey test ( $P < 0.01$ ) and boxplots were used to analyze the normal distribution of the data in each LUS. To evaluate the correlations between the soil attributes and the macrofauna, a multivariate principal component analysis was performed. Were sampled 84.846 individuals, distributed among 14 orders and 29 families and the most abundant groups were represented by Isoptera, Coleoptera, Oligochaeta and Formicidae. The area of Cer were differentiated from other types of land use systems. It was verified that the chemical and microbiological attributes are related to the abundance and richness of the macrofauna groups, but no significant influences were observed for the physical attributes. The land use systems influenced the density and composition of the edaphic fauna, besides promoting modifications in most physical, chemical and microbiological soil parameters.

**Key words:** macrofauna, microbiology, soil invertebrates, soil quality, soil management.

## 2.1. INTRODUÇÃO

A estrutura física do solo regula diversas funções ecológicas, incluindo as que controlam a infiltração, percolação e retenção de água, trocas gasosas, dinâmica da matéria orgânica do solo e de nutrientes minerais, diversidade e atividade da biomassa microbiana do solo, a suscetibilidade do solo à erosão, dentre outras. Dessa maneira, evidenciam-se as diversas interrelações existentes entre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e a maneira como tais funções operam por meio de uma interação complexa entre si (Decaëns et al., 1994; Carneiro et al., 2009; Bottinelli et al., 2015).

A macrofauna edáfica apresenta grande diversidade de indivíduos, com diâmetro corporal geralmente maior que 2 mm e comprimento maior que 10 mm (Swift et al., 1979). Possui um efeito significativo nos parâmetros da fertilidade do solo devido à sua habilidade de modificar o meio através da construção de ninhos ou galerias, e embora não sejam aptos a digerir carboidratos complexos, lignina ou compostos húmicos e fenólicos presentes na matéria orgânica, possuem grande influência na atividade microbiana do solo ao hospedar uma enorme variabilidade de microrganismos e desenvolver relações mutualísticas em seus sistemas digestivos (Lavelle et al., 1994; Taheri et al., 2018).

Os macroinvertebrados edáficos influenciam de diferentes maneiras nos processos que determinam a fertilidade do solo ao regular as populações microbianas, responsáveis pelos processos de mineralização e humificação, influenciando na ciclagem da matéria orgânica e na liberação dos nutrientes assimiláveis pelas plantas. Por meio de ações mecânicas no solo, contribuem para a formação de agregados estáveis, que protegem parte da matéria orgânica do solo de uma rápida mineralização, constituindo uma potencial reserva de nutrientes assimiláveis para as plantas. São ainda capazes de modificar a textura e propriedades físicas do solo nas camadas mais superficiais, onde a maioria deles vive (Decaëns et al., 1994; Lavelle et al., 2006; Brossard et al., 2012; Souza et al., 2015).

Entre a macrofauna edáfica, as minhocas, os cupins e as formigas são considerados os mais importantes no controle da dinâmica da estrutura do solo por meio da incorporação de serapilheira, já que a matéria orgânica do solo é um fator chave para o controle da porosidade e da estabilidade de agregados (Bottinelli et al., 2015). O espaço poroso associado à atividade de construção de ninhos e galerias por esses organismos consiste em uma integração entre os espaços vazios e as galerias, resultantes da atividade de cavar, e formam a micro ou macroporosidade do solo de acordo com os tipos de agregados

construídos, variando em diferentes tamanhos e formas. A presença de macroporos indica transporte de material de camadas mais profundas para a superfície do solo, por meio da movimentação desses organismos no perfil (Lavelle et al., 1994; Barros et al., 2001; Franco et al., 2017).

Os efeitos das atividades da macrofauna podem variar entre espécies, com diferentes tipos de alimentação e de comportamentos de construção de estruturas, e nas mesmas espécies entre os ninhos e a área trófica, podendo afetar positiva ou negativamente fatores como a permeabilidade do solo e sua estabilidade estrutural, densidade, taxas de mineralização de nutrientes e os regimes de água (Lavelle et al., 1994; Bartz et al., 2014).

A fauna do solo é sensível a fatores edáficos e climáticos que determinam a disponibilidade de recursos alimentares e condições microclimáticas, alterando essas comunidades (Lavelle et al., 1994). O efeito da macrofauna edáfica no solo pode ser modificado por diversos fatores além da estrutura física e da fertilidade, entre os quais a cobertura vegetal é o mais importante devido à qualidade da matéria orgânica que será incorporada ao solo, mas também por determinar, indiretamente, a composição da fauna do solo (Frouz et al., 2006). Além disso, perdas aceleradas de matéria orgânica e a desagregação do solo são atribuídas à destruição da fauna edáfica, responsáveis por regular a dinâmica da matéria orgânica do solo (Lavelle et al., 1994).

Há escassez de estudos relativos à relação da dinâmica das comunidades da macrofauna edáfica com as propriedades físicas e químicas dos solos, principalmente em ecossistemas naturais, e a produtividade, em sistemas de produção, no bioma Cerrado, considerando que a abundância e a diversidade desses organismos são indicadores da qualidade do solo e influenciam diretamente a dinâmica da matéria orgânica do solo, teores de nutrientes, variáveis como densidade do solo, porosidade e disponibilidade de água (Vendrame et al., 2009; Portilho et al., 2011; Silveira et al., 2016).

Dessa forma, o objetivo do estudo foi avaliar as relações entre a macrofauna edáfica e as propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo em seis diferentes sistemas de uso do solo em área de Cerrado do Distrito Federal.

## **2.2. MATERIAIS E MÉTODO**

### **2.2.1. ÁREA DE ESTUDO**

Ver descrição em Metodologia Geral (páginas 5 e 6).

### **2.2.2. AMOSTRAGEM, TRIAGEM E ATRIBUTOS ECOLÓGICOS**

Ver descrições em Materiais e Métodos (Capítulo 1, páginas 13 a 15).

### **2.2.3. PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS E MICROBIOLÓGICAS DO SOLO**

As características químicas e microbiológicas foram determinadas em subamostras (fração de 300 g de solo) retiradas de cada monólito de solo após a separação da macrofauna edáfica.

As análises químicas do solo avaliaram pH em água, P por espectrofotometria de absorção molecular com solução de Mehlich-1, K por fotometria de chama,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  por espectrometria de absorção atômica com solução de KCl 1 mol/L,  $\text{Al}^{3+}$  e acidez potencial (H+Al) por titulometria, matéria orgânica por titulação após oxirredução por via úmida, de acordo com Donagema et al. (2011).

O C orgânico total e N total foram determinados pelo método da análise elementar, ou método de Dumas, em analisador elementar automático modelo Perkin Elmer Series II CHNS/O 2400. Os valores de N passaram por reajuste da integral obtida (ferramenta manual peak integration) por meio do programa varioMACROcube e foi então calculada a relação C:N.

As propriedades físicas do solo foram quantificadas em amostras indeformadas, coletadas na camada 0-10 cm com uso de anel volumétrico com capacidade de 100 cm<sup>3</sup> de solo. Todas as amostras foram coletadas nos mesmos pontos dos monólitos com a finalidade de relacionar os atributos físicos, químicos e biológicos. Para a mensuração dos atributos físicos foram determinadas: densidade do solo (método do anel volumétrico), porosidade total (determinada pela relação entre a densidade do solo e a densidade de partículas), macroporosidade, microporosidade, condutividade hidráulica de laboratório e a

caracterização textural (Donagema et al, 2011) (Tabela 2.1). O solo da área foi caracterizado como Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa (Santos et al., 2013).

Tabela 2.1. Valores médios e desvio padrão dos componentes texturais nos diferentes sistemas de uso do solo (SUS) (Cer: Cerradão; ILPF: Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta; Euc: Plantio de *Eucalyptus* sp.; Leu: Sistema Silvopastoril de *Leucaena leucocephala*; Past3: Pastagem de *Urochloa brizantha* a pleno sol; Past6: Pastagem contínua de *Urochloa brizantha* de baixa produtividade).

| SUS   | Areia              | Silte        | Argila       |
|-------|--------------------|--------------|--------------|
|       | g kg <sup>-1</sup> |              |              |
| Cer   | 389 (± 4,7)        | 90 (± 8,4)   | 521 (± 10,8) |
| ILPF  | 251 (± 71,9)       | 140 (± 35,9) | 610 (± 36,3) |
| Euc   | 240 (± 84,6)       | 186 (± 65,8) | 574 (± 36,6) |
| Leu   | 251 (± 82,2)       | 199 (± 60,2) | 550 (± 42,4) |
| Past3 | 260 (± 64,9)       | 123 (± 55,0) | 617 (± 38,7) |
| Past6 | 358 (± 8,9)        | 106 (± 31,6) | 537 (± 37,2) |

Para a determinação das características microbiológicas foram avaliadas a atividade da fosfatase ácida, de acordo com Tabatabai (1994), baseando-se na determinação colorimétrica do *p*-nitrofenol liberado por essa enzima quando o solo é incubado em solução tamponada, o carbono microbiano (CBM), por meio do método de fumigação-extração proposto por Vance et al. (1987), e o nitrogênio microbiano (NBM), de acordo com Brookes et al. (1985).

#### 2.2.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Foi realizada análise multivariada de componentes principais (PCA) com o propósito de correlacionar os atributos físicos e químicos do solo e microbiológicos à fauna edáfica com o objetivo de identificar a influência dos diferentes sistemas de uso do solo na distribuição biológica, bem como a aplicação dos organismos da fauna edáfica como possíveis bioindicadores. As variáveis foram selecionadas por meio da avaliação de presença de multicolinearidade por meio do fator de inflação da variância, que quantifica a correlação de cada coeficiente em relação às variáveis independentes com base no valor de significância

( $P < 0,05$ ). A PCA foi realizada com o programa CANOCO versão 4.5 (Ter Braak; Smilauer, 2002).

Com a finalidade de avaliar a normalidade da distribuição dos dados físicos e químicos em cada área foram construídos boxplots com auxílio do programa SigmaPlot 10.0 (Systat Software, San Jose, CA).

## 2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1. FÍSICA DO SOLO

Os diferentes usos do solo provocaram mudanças ( $p < 0,01$ ) na densidade do solo, na porosidade total, na macro e microporosidade e na condutividade hidráulica saturada do solo quando comparados entre si (Figuras 2.1A, B, C, D e E).

A maior densidade observada para os sistemas de uso do solo quando comparados ao Cerradão (Figura 2.1A) pode estar associada ao pisoteio de animais e ao tráfego de máquinas e implementos agrícolas (Oliveira et al., 2013; Solgi; Najafi, 2014), mas, ainda que superiores ao Cerradão, os valores de densidade dos sistemas não atingiram índices críticos limitantes ao crescimento radicular para solos argilosos (superiores a  $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$ ), de acordo com Reichert et al. (2003).

A porosidade total foi menor para o Cerradão, assim como a microporosidade, com o ILPF apresentando valores similares. Entretanto, a macroporosidade apresentou valores superiores no Cerradão e no ILPF (Figura 2.1B).

A menor porosidade total observada no Cerradão obedece a relação inversamente proporcional à densidade do solo (Reichert et al., 2003; Kuncoro et al., 2014B) e também pode estar relacionada ao não revolvimento do solo desta área por meio de práticas agrícolas, como por exemplo a escarificação, uma vez que são capazes de aumentar a porosidade total do solo em camadas de 0-10 cm (Toigo et al., 2010).

Os maiores valores de microporos encontrados nos demais sistemas de uso do solo indicam solos com maiores níveis de compactação, uma vez que houve redução dos poros maiores que 50 mm, como sugerido por Reichert et al. (2003) e Kuncoro et al. (2014B).

Maiores valores de macroporosidade geralmente estão associados, além de uma estrutura mais estável, à presença de atividade biológica, principalmente de minhocas, formigas e cupins (Lavelle e Spain, 2001; Reichert et al., 2003; Souza et al., 2016A), e à presença de raízes. De acordo com Branham; Strack, (2014), a macroporosidade apresenta uma relação inversamente proporcional à densidade do solo.

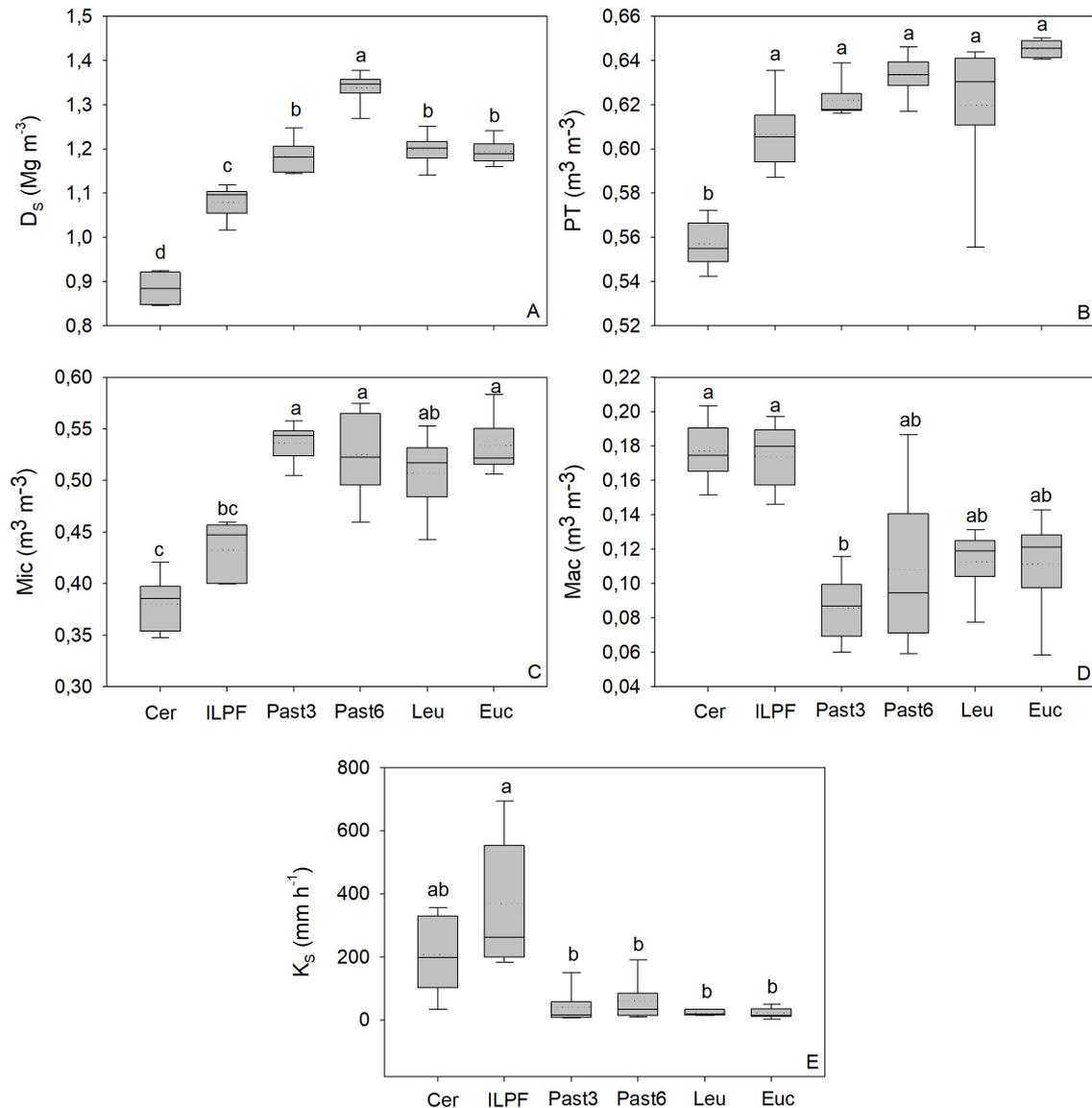


Figura 2.1. Atributos físicos (A) Densidade do solo ( $D_s$ ), (B) Porosidade Total (PT), (C) Macroporosidade (Ma), (D) Microporosidade e (E) Condutividade hidráulica do solo ( $K_s$ ) em vegetação natural de Cerradão (Cer), Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), pastagem de *Urochloa brizantha* a Pleno Sol com três anos (Past3), pastagem de *Urochloa brizantha* de 6 anos (Past6), sistema silvipastoril de Leucena (Leu) e plantio clonal de *Eucalyptus* sp. (Euc). Letras diferentes acima dos boxplots indicam diferença estatística entre os sistemas pelo teste de Tukey ( $p < 0,01$ ).

Na classificação apresentada por Dexter et al. (2008), os poros estruturais são responsáveis pelo abrigo de organismos vivos, são essenciais para a decomposição da matéria orgânica do solo e favorecem o crescimento radicular, a aeração e trocas gasosas, a condução e a permeabilidade da água.

A condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_s$ ) apresentou valores superiores para o ILPF, seguido pelo Cer, e os menores valores foram observados para a Leucena (Figura 2.1E). Esse atributo representa a capacidade de transmissão de água às plantas e é dependente

da quantidade, distribuição, tamanho e continuidade dos poros, sendo positivamente relacionado às variáveis não hidráulicas porosidade total e macroporosidade, e negativamente relacionada à microporosidade e à densidade do solo (Mesquita; Moraes, 2004; Branham; Strack, 2014).

Embora o Cerradão tenha apresentado menores valores de densidade do solo, porosidade total e microporos, e maiores valores de macroporos, a maior  $K_s$  em valores absolutos foi observada para o ILPF, o que pode estar relacionado à presença de um megaporo a mais em alguma das amostras analisadas, como sugerido por Mesquita; Moraes (2004) e, considerando a grande presença de oligoquetas na área de ILPF (Ver Tabela 1.1, Capítulo 1, página 18).

Por apresentar relações diretas às outras propriedades, a  $K_s$  também é uma variável alterada com o manejo do solo e, assim, operações que causam a compactação do solo prejudicam os fluxos de água e de gases no sistema, não apenas pela redução, mas também pela descontinuidade dos macroporos (Mesquita; Moraes, 2004; Kuncoro et al., 2014B; Ghanbarian et al., 2017; Sandin et al., 2017). A continuidade dos poros está associada diretamente à presença de fauna edáfica e de raízes vasculares (Reichert et al., 2003; Sandin et al., 2017).

A partir dos valores de  $K_s$  é possível avaliar os riscos de lixiviação química de uma área (Masís-Meléndez et al., 2014), sendo a  $K_s$  dependente da topografia e da profundidade do solo avaliada, mas é mais rapidamente modificada na camada de 0-10 cm (Branham; Strack, 2014; Fu et al., 2015).

Por meio da análise dos atributos físicos do solo e, dentre os sistemas agrícolas, verifica-se que o ILPF apresentou as características mais favoráveis tanto para práticas agrícolas como para a sustentabilidade do sistema de produção, com menores valores de densidade, menores valores de microporosidade e maiores valores de macroporosidade e condutividade hidráulica do solo.

### 2.3.2. QUÍMICA DO SOLO

O pH do solo apresentou caráter mais básico para a Pastagem de três anos, com valores próximos a 6,5, diferenciando-se dos demais sistemas, seguido pelo ILPF com valores próximos a 5,5 e, como era de se esperar, mais ácido para o sistema natural Cerradão,

com valores próximos a 4,5 (Figura 2.2A). Devido ao pH ser inversamente proporcional à acidez potencial (H+Al), observou-se essa tendência nos demais componentes de acidez do solo, com o Cer diferenciando-se dos demais SUS por atingir os maiores valores de H+Al e  $Al^{3+}$  (Figuras 2.2B e 2C, respectivamente), seguido por Euc para H+Al e Past6 para  $Al^{3+}$ ; e os menores valores observados em ambas as variáveis para a Pastagem de três anos e ILPF, com exceção de  $Al^{3+}$  para esse último (Figura 2.2C).

Os maiores valores de acidez encontrados para o Cerradão em relação aos demais sistemas de uso do solo são devido à condição natural dessa área em detrimento das correções de acidez realizadas nas demais. Os Latossolos do Cerrado são naturalmente ácidos, apresentando valores de pH entre 4,0 e 5,5, com baixos teores de nutrientes e baixos valores de capacidade de troca de cátions (CTC) (Adámoli et al., 1985).

O teor de  $Al^{3+}$  em solos com pH menores que 5,0 é maior devido à solubilização desse elemento e, embora os valores encontrados tenham apresentado diferenças entre os sistemas avaliados, não foram atingidos os níveis tóxicos de  $Al^{3+}$  para o crescimento de plantas nas áreas de produção (Souza; Alves, 2003; Miguel et al., 2010).

Para  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , a Pastagem de três anos apresentou os maiores valores, diferenciando-se dos demais sistemas, seguido pelo ILPF; já o Cerradão e a Pastagem de seis anos foram os que apresentaram os menores teores desses nutrientes (Figuras 2D e 2E). A Pastagem de três anos também foi diferenciada dos demais sistemas de uso do solo na avaliação da capacidade de troca catiônica (CTC) (Figura 2.3F), já que o cálculo da CTC é dependente de bases.

Tais diferenças também podem ser atribuídas à calagem realizada nas áreas de produção, já que há incorporação desses elementos quando se adota essa prática de manejo, com consequente aumento da CTC. Conforme observaram Souza; Alves (2003), em solos do Cerrado, há acúmulo de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  em camadas superficiais devido à adição de calcário, à reciclagem de Ca por decomposição de resíduos vegetais e também ao aumento da CTC do solo, capaz de reter mais cátions nessa camada. Para os menores valores observados na Pastagem de seis anos, pode-se considerar o tempo decorrido desde o último manejo na área, realizado há seis anos do momento das presentes avaliações, assim como a lixiviação dos nutrientes.

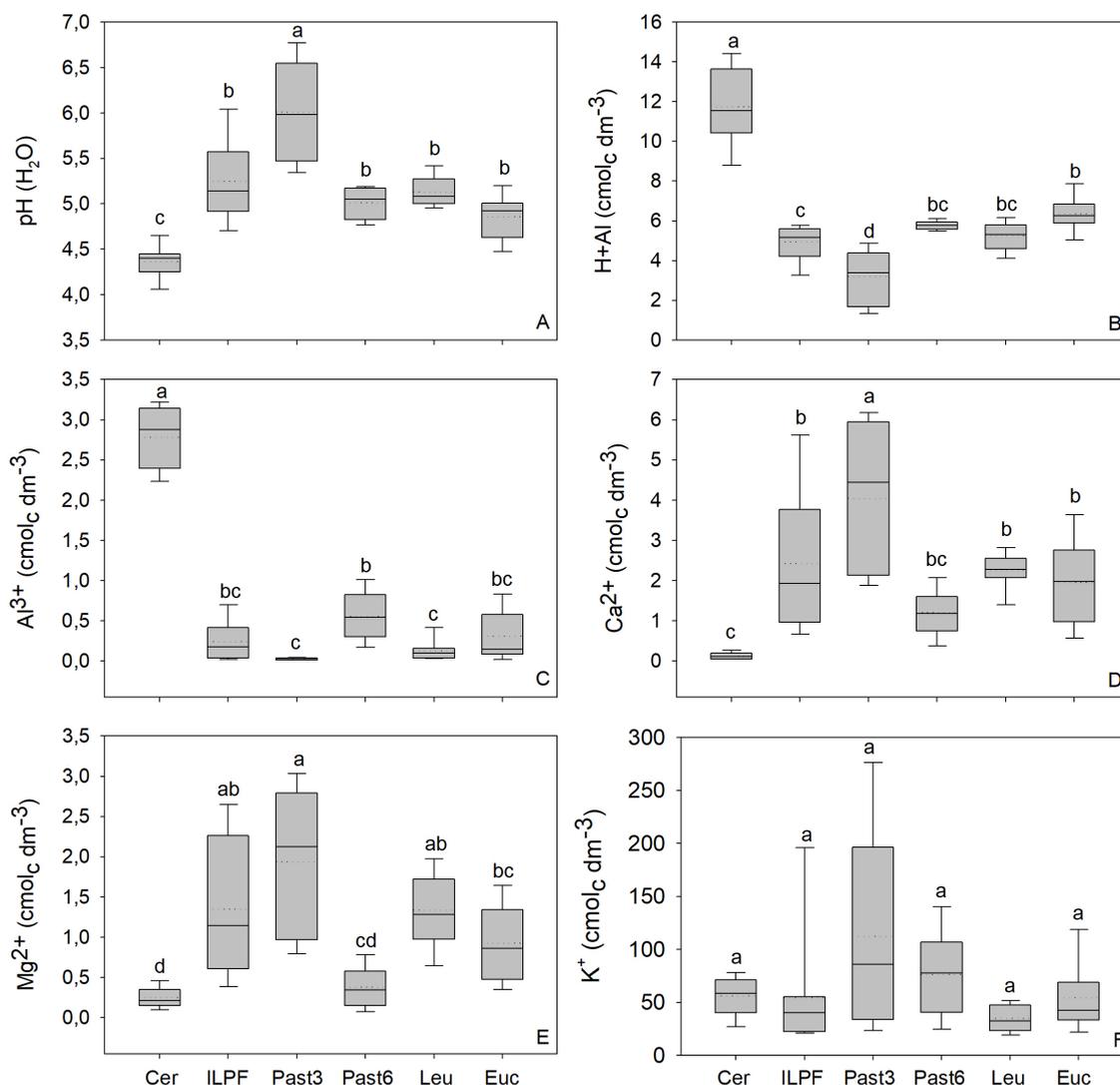


Figura 2.2. Atributos químicos (A) pH em água, (B) Alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ), (C) Acidez potencial (H+Al), (D) Cálcio ( $Ca^{2+}$ ), (E) Potássio ( $K^+$ ) e (F) Magnésio ( $Mg^{2+}$ ) em vegetação natural de Cerradão (Cer), Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), pastagem de *Urochloa brizantha* a Pleno Sol com três anos (Past3), Pastagem de *Urochloa brizantha* de seis anos (Past6), sistema silvipastoril de Leucena (Leu) e plantio clonal de *Eucalyptus* sp. (Euc). Letras diferentes acima dos boxplots indicam diferença estatística entre os sistemas pelo teste de Tukey ( $P < 0,01$ ).

Os teores de carbono orgânico total (COT), assim como os de matéria orgânica do solo (MOS), diferenciaram o Cerradão dos demais sistemas e, a Pastagem de seis anos foi o sistema de uso do solo que apresentou os menores valores para MOS (Figuras 2.3B e E, respectivamente). Por fim, não foram observadas diferenças estatísticas para K, P e N, assim como para a relação C:N (Figuras 2.2F, 2.3A, C e D, respectivamente).

Em áreas naturais, o C tende a permanecer no solo, assim como em áreas de pastagens e de plantio direto devido às raízes e sua constante renovação, em relação aos sistemas convencionais que apresentam revolvimento sistemático do solo. Entretanto, estudos

realizados em distintos sistemas de uso do solo em solos do Cerrado não encontraram diferenças estatísticas significativas entre os teores desse nutriente e os manejos adotados, assim como não foram observadas diferenças entre os teores de N (D'Andrea et al., 2004; Fontana et al., 2016).

Na avaliação de diferentes usos do solo utilizando *U. brizantha*, vegetação espontânea, milho e milho associado à *U. ruziziensis* em Latosso Vermelho no estado de Goiás, Santos et al. (2015) também não verificaram diferenças estatísticas para o COT nos sistemas de produção, mas observaram maiores estoques médios de COT nos sistemas que possuíam *Urochloa*, atribuídos à quantidade de resíduos vegetais aportados ao solo pela gramínea.

Em estudo realizado em plantios de café por Cerri et al. (2017) em Minas Gerais, entretanto, não foram observadas diferenças estatísticas para os teores de COT, mas estas foram apresentadas para os de N. Já Souza et al., (2016), estudando diferentes tipos de manejo em área nativa e plantios de soja e milho no mesmo local do presente estudo, verificaram diferenças estatísticas em todas as frações húmicas do C avaliadas na camada de 0-5 cm. Esses autores ressaltam a importância dos resíduos vegetais na incorporação do C ao solo durante o processo de decomposição desse material, o que pode explicar os menores teores do elemento na Pastagem de seis anos, já que a pastagem está em processo de baixa produtividade.

A matéria orgânica do solo é o componente mais afetado pelo manejo, o que pode modificar processos diretos à sua decomposição e, conseqüentemente, à ciclagem de nutrientes e suas características químicas, e também as características físicas e biológicas do solo (Kibblewhite et al., 2008; Souza et al., 2015; Souza et al., 2016B), desempenhando importante papel na avaliação das mudanças causadas por sistemas de manejo, como o uso de sistemas de plantio direto e estratégias de fertilização por fósforo (Souza et al., 2016B).

Devido ao C corresponder a 58% do total de nutrientes da MOS (Silva; Mendonça, 2007), esse elemento está diretamente relacionado às alterações de qualidade e quantidade desse parâmetro, sendo importante avaliar todas as frações do C.

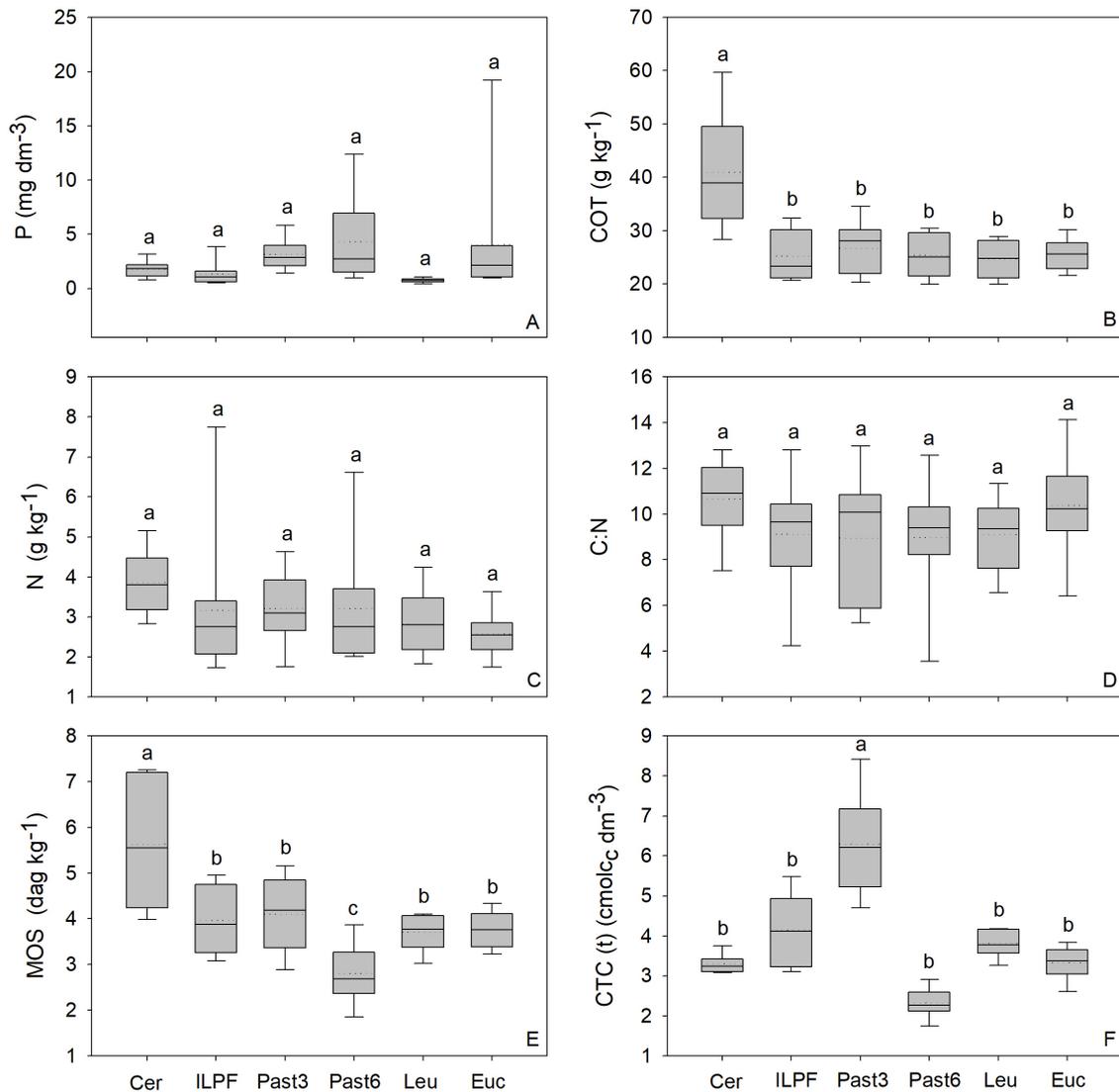


Figura 2.3. Atributos químicos (A) Fósforo (P), (B) Carbono orgânico total (COT), (C) Nitrogênio (N), (D) Relação Carbono-Nitrogênio (C:N), (E) Matéria orgânica do solo (MOS) e (F) Capacidade de Troca Catiônica (CTC) em vegetação natural de Cerradão (Cer), Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), pastagem de *Urochloa brizantha* a Pleno Sol com três anos (Past3), Pastagem de *Urochloa brizantha* de seis anos (Past6), sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* (Leu) e plantio clonal de *Eucalyptus* sp. (Euc). Letras diferentes acima dos boxplots indicam diferença estatística entre os sistemas pelo teste de Tukey ( $p < 0,01$ ).

Em avaliação de um Latossolo Vermelho no estado de Goiás sob diferentes manejos de cana-de-açúcar, pastagem e Cerrado natural, Rossi et al. (2016) também verificaram maior quantidade de MOS na área natural. Já Soares et al. (2017), avaliando plantios de *Eucalyptus grandis* e vegetação natural de Mata Atlântica no Rio Grande do Sul sob solos argilosos, não verificaram diferenças em até 1,00 m de profundidade nos teores de MOS em suas diferentes porções, e a maior capacidade de armazenamento de MOS foi atribuída aos

maiores incrementos de C originários da biomassa das plantas e à maior estabilização física e química da MOS devido ao alto teor de argila do solo avaliado.

Por meio da análise dos atributos químicos do solo e, dentre os sistemas agrícolas avaliados, a Pastagem de três anos foi o sistema que apresentou as melhores características dos atributos químicos, como maiores valores de pH, menores de acidez potencial, maiores valores das bases  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e, conseqüentemente, maior CTC e tais resultados podem ser devido ao fato de ser o sistema mais recente dentre os avaliados, conservando os efeitos da fertilização realizada antes do plantio.

### 2.3.3. MICROBIOLOGIA

A atividade da enzima fosfatase ácida separou o Cerradão dos demais sistemas, sendo o Eucalipto o sistema de uso do solo que apresentou a menor atividade dessa enzima. Os teores de carbono microbiano (CBM) foram capazes de diferenciar alguns dos sistemas, com o Cerradão apresentando os maiores valores para esse componente e o Eucalipto os menores valores. Já os teores de nitrogênio microbiano (NBM) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os sistemas (Figuras 2.4A, B e C).

Em avaliações realizadas por Braga et al. (2016), em área de vegetação nativa de Mata Atlântica e de plantios com três diferentes espécies de *Eucalyptus* (*E. grandis*, *E. cloesiana* e *E. pilularis*) com 40 anos de idade em Latossolo Vermelho no estado de Minas Gerais, não foram verificadas diferenças estatísticas significativas no CBM entre a vegetação nativa em duas das espécies avaliadas (*E. grandis* e *E. cloesiana*), fato atribuído aos diferentes graus de recalcitrância da matéria orgânica aportada ao solo por cada espécie de eucalipto.

Embora os resultados de Braga et al. (2016) tenham diferido dos resultados encontrados no presente estudo, diversos autores confirmam maiores valores de CBM associados a maiores valores de atividade da enzima fosfatase ácida, em áreas de vegetação natural quando comparadas a diferentes sistemas de uso do solo.

Com o objetivo de avaliar a atividade da fosfatase ácida e os níveis de CBM no estado de Mato Grosso em vegetação nativa de Cerrado, cultivos anuais de soja e cultivos perenes de videira, Matsuoka et al. (2002) encontraram maiores teores de CBM e de fosfatase ácida no Cerradão. Ao avaliarem atributos microbiológicos em área de Cerradão e de cultivos de arroz com um, dois e três anos de idade no estado de Goiás, Godoy et al. (2013) encontraram

maiores valores de CBM, NBM e atividades enzimáticas de fosfatase ácida e alcalina no solo da área nativa. Os autores também encontraram correlações positivas e significativas entre CBM e a atividade da enzima fosfatase ácida. As relações observadas pelos autores citados para o CBM concordam com as do presente estudo.

De acordo com Matsuoka et al. (2002), quanto menor os valores expressos pela atividade enzimática da fosfatase ácida, menor a dependência do sistema em relação à ciclagem do P orgânico, indicando solos com melhores níveis de fertilidade. A fosfatase ácida é uma enzima importante para o ciclo do P e, juntamente com a atividade da biomassa microbiana, atuam na disponibilização do P orgânico em áreas sob vegetação nativa e, dessa forma, tais sistemas são capazes de se autossustentarem sem fertilização fosfatada e com baixos níveis de P disponível (Conte et al., 2002), como é o caso do Cerradão avaliado nesse estudo.

Nos sistemas de uso do solo onde foram apresentados maiores valores médios de P e maiores valores de atividade da enzima fosfatase ácida em relação aos demais, como ocorreu na Pastagem de seis anos, pode-se atribuir tal fato ao menor revolvimento do solo nessas áreas, que favorece uma maior concentração do adubo fosfatado na camada superficial, como sugerido por Mendes et al. (2003), devido ao P possuir uma alta afinidade com os coloides organominerais do solo e, por isso, aumentar a adsorção do ânion fosfato, sendo capaz de reduzir o efeito inibidor da adubação fosfatada sobre a atividade enzimática (Conte et al., 2002), além de manter a matéria orgânica no sistema.

Os componentes microbianos são alterados não só pelo manejo, mas também pela diversidade florística e idade de uma área, conforme observaram Medeiros et al. (2017) em avaliações realizadas em áreas de regeneração natural em diferentes estágios (inicial, intermediário e final), onde encontraram maiores valores de COT, CBM e de atividades enzimáticas de fosfatase ácida e arissulfatase nas primeiras camadas dos sistemas mais antigos de regeneração, respectivamente, do que no estágio inicial do processo, o que também se relaciona ao Cerradão avaliado nesse estudo.

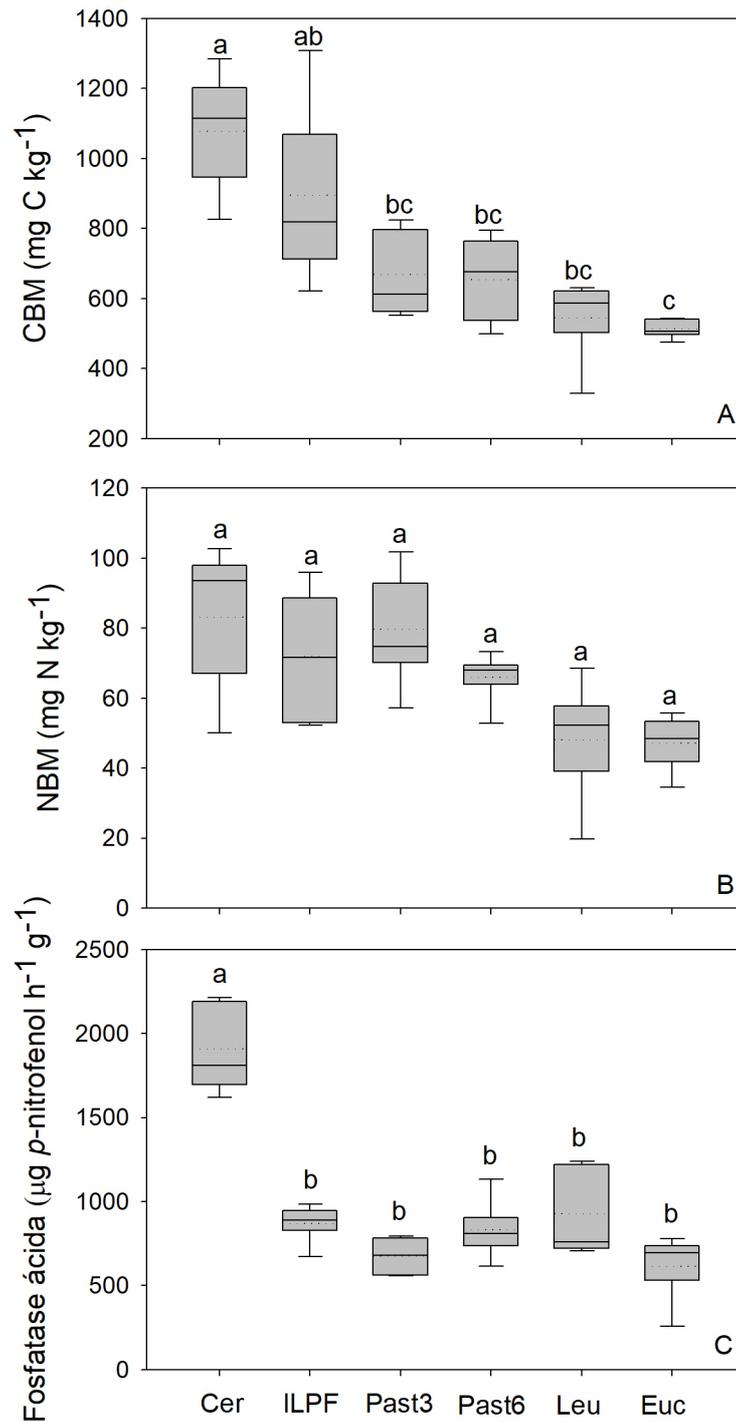


Figura 2.4. Atributos microbiológicos (A) Carbono microbiano do solo (CBM), (B) Nitrogênio microbiano do solo (NBM), (C) Fosfatase ácida (*p*-nitrofenol), em vegetação natural de Cerradão (Cer), Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), pastagem de *Urochloa brizantha* a Pleno Sol com três anos (Past3), Pastagem de *Urochloa brizantha* de seis anos (Past6), sistema silvipastoril de Leucena (Leu) e plantio clonal de *Eucalyptus* sp. (Euc). Letras diferentes acima dos boxplots indicam diferença estatística entre os sistemas pelo teste de Tukey ( $p < 0,01$ ).

Maiores atividades de fosfatase estão quase sempre associadas aos maiores teores de CBM, ambas associadas aos teores de MOS, entretanto, tais relações não foram observadas nos sistemas de produção avaliados no presente trabalho, com exceção dos resultados encontrados para o Cerradão. Conforme comentado por Dick (1997), existe uma dificuldade no estabelecimento de correlações entre as variáveis bioquímicas e químicas quando a entrada de nutrientes por meio de fertilizantes é elevada.

#### 2.3.4. MACROFAUNA

A densidade relativa e a riqueza avaliadas nos seis sistemas apresentou o total de 84.846 indivíduos, distribuídos em sete classes, 14 ordens e 29 famílias (Ver Tabela 1.1, Capítulo 1, página 18).

Os sistemas de uso do solo que apresentaram maior densidade foram o Cerradão e a Pastagem de seis anos, devido à maior quantidade de Isoptera nessas áreas, e as menores densidades foram observadas para o Eucalipto. Para maiores informações sobre resultados e discussão da macrofauna, consultar Capítulo 1, item 1.3.1, páginas 16 a 20.

#### 2.3.5. INFLUÊNCIA DOS ATRIBUTOS DO SOLO NA MACROFAUNA EDÁFICA

A análise de componentes principais (PCA) pode ser vista na Figura 2.5, onde os atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo foram utilizados como variáveis ambientais explicativas das modificações dos grupos da macrofauna em função do sistema de uso do solo. O primeiro eixo da componente principal (PC1) explica 20,7% da variabilidade, o segundo eixo da componente principal (PC2) é responsável por explicar 15,8% e, juntos, explicam 36,5% da variabilidade total.

Após a seleção das variáveis, verificou-se que nenhum atributo físico foi significativo ( $p < 0,05$ ) na PCA; os atributos químicos selecionados foram pH,  $Al^{3+}$ ,  $K^+$  e matéria orgânica do solo (MOS) e dos atributos microbiológicos, apenas o carbono microbiano (CBM) (Figura 2.5).

Pode-se observar uma diferenciação do Cerradão dos demais sistemas, associado à CP1 e à uma maior variedade de grupos da fauna edáfica: Araneae, Isopoda, Diptera, Chilopoda, Coleoptera adultos, Formicidae, Blattodea, Dermaptera e Isoptera. Os sistemas

ILPF, Pastagem de três e de seis anos, estão mais associados a Gastropoda, Oligochaeta, Orthoptera, Hemiptera e Coleoptera larva, com o ILPF também associado a Diplopoda; Leucena e Eucalipto se apresentaram mais associados à Diplopoda e Chilopoda (Figura 2.5).

A ordem Hemiptera, associada aos sistemas com pastagem, com exceção de Leucena, foi representada na Pastagem de seis anos, em sua totalidade, por indivíduos da família Cydnidae, que tem como principal correspondente o percevejo-castanho, inseto causador de danos às culturas de grãos e pastagens (Ávila et al., 2016). Conforme sugerem Garlet et al. (2013), sistemas conduzidos em monoculturas, por fornecerem apenas um substrato alimentar e simplificarem o ecossistema, podem ocasionar o surgimento de espécies-praga e, embora não afetem a densidade da macrofauna, podem reduzir a riqueza taxônomica (Decaens et al., 1994).

Algumas relações entre as propriedades químicas e microbiológicas e a densidade de grupos da macrofauna puderam ser observadas, como a associação dos grupos do Cerradão aos teores de MOS (Diptera, Isopoda e Araneae),  $Al^{3+}$  (Coleoptera adultos e Blattodea) e CBM, mais associado a Dermaptera e Formicidae e, em especial,  $K^+$  fortemente associado a Isoptera. Já os grupos que ocorrem nas áreas de ILPF e Pastagem de três anos, áreas com os menores valores de acidez do solo entre os sistemas avaliados, e Pastagem de seis anos, associados ao pH.

Uma vez que a macrofauna auxilia na ciclagem de nutrientes, ela é diretamente influenciada por alterações na qualidade e na quantidade de matéria orgânica aportada ao sistema (Kibblewhite et al., 2008; Souza et al., 2015). De acordo com D'Andrea et al. (2004), adubações e correções da acidez do solo, assim como a macrofauna (Decaens et al., 1994), criam condições favoráveis aos microrganismos nitrificadores responsáveis pela mineralização, o que faz com que o estoque de C do solo seja naturalmente restabelecido pela decomposição realizada por esses microrganismos (Cerri et al., 2017), fato também observado por estudos de Souza et al. (2016), onde a fertilização fosfatada realizada continuamente em sistema de plantio direto em cultivo de milho promoveu o acúmulo de C orgânico nas frações húmicas do solo, auxiliando o aumento da MOS.

Souza et al. (2016) também encontraram os grupos Formicidae, Coleoptera, Araneae e Blattodea fortemente associados à MOS, além de Pseudoscorpionidae. O grupo Coleoptera também foi associado à MOS durante a avaliação de uma Mata de Galeria no Cerrado de Minas Gerais, plantações de café e de eucalipto por Marques et al. (2014).

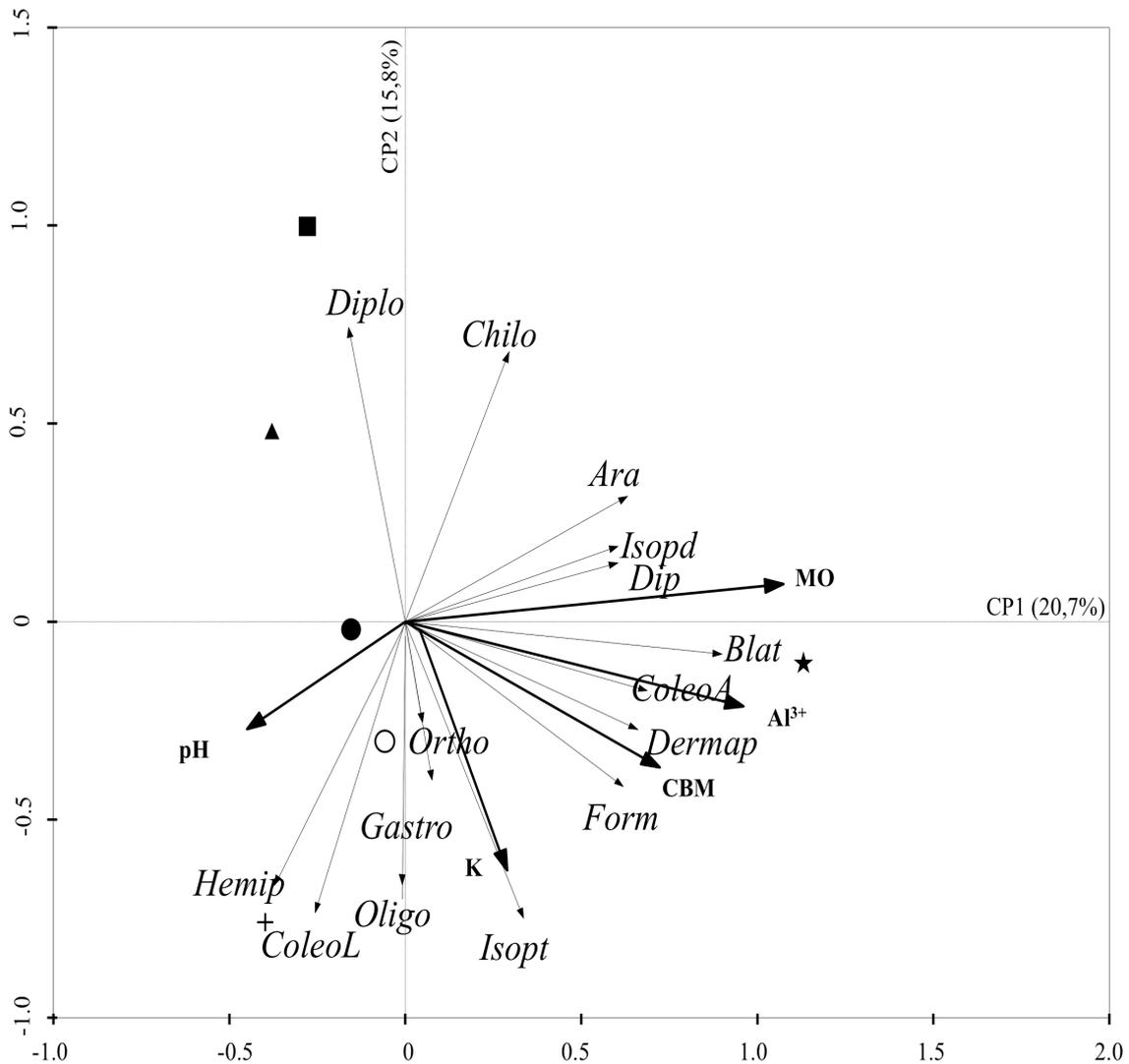


Figura 2.5. Análise de componentes principais (PCA) entre grupos da macrofauna edáfica, sistemas de uso do solo e atributos físicos, químicos e microbiológicos em vegetação natural de Cerradão (Cer), Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), pastagem de *Urochloa brizantha* a Pleno Sol com três anos (Past3), Pastagem de *Urochloa brizantha* de seis anos (Past6), sistema silvipastoril de Leucena (Leu) e plantio clonal de *Eucalyptus* sp. (Euc). Vetores em negrito representam os atributos físicos do solo (Ds: Densidade do solo; VTP: Volume total de poros; Mic: Microporosidade, Mac: Macroporosidade e K<sub>s</sub>: Condutividade hidráulica saturada), químicos (pH; Al<sup>3+</sup>: Alumínio trocável; H+Al: Acidez potencial; Ca<sup>2+</sup>: Cálcio; K: Potássio; Mg<sup>2+</sup>: Magnésio; P: Fósforo; COT: Carbono orgânico total; N: Nitrogênio, C:N: Relação Carbono-Nitrogênio e MOS: Matéria orgânica do solo) e microbiológicos (CBM: Carbono microbiano do solo; NBM: Nitrogênio microbiano do solo e Fosf: Fostase ácida (P-nitrofenol)). Em itálico os grupos da macrofauna: Isoptera (Isop); Blattodea (Blat); Hymenoptera (For); Coleoptera larva (ColeoL); Coleoptera adulto (ColeoA); Araneae (Aran); Isopoda (Isopoda); Dermaptera (Dermap); Gastropoda (Gastro); Chilopoda (Chilo); Diplopoda (Diplo); Orthoptera (Ortho); Oligochaeta (Oligo); Diptera (Dip); Hemiptera (Hemip).  
 ★Cer, ●ILPF, ○Past3, + Past6, ▲Leu e ■Euc.

Nesse trabalho, observa-se que os grupos que explicam a variabilidade do CBM são os mesmos que explicam a variabilidade da MOS, ainda que em correlações mais ou menos fortes, corroborando a relação entre os parâmetros, devido ao fato de ser a MOS um dos

principais recursos explorados pela fauna edáfica e, de acordo com Frouz et al. (2006), maiores acúmulos de MOS resultam em maiores atividades enzimáticas e biomassas microbianas no solo. Além disso, o CBM é sensível à remoção da cobertura vegetal nativa por representar a parte viva e mais ativa da MOS e em áreas de vegetação nativa a MOS é a principal fonte de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas e, entre os fatores responsáveis às condições mais favoráveis para os elevados teores de CBM estão a ausência de preparo do solo e a maior diversidade florística, observada para o Cerradão no presente estudo, atuando diretamente na quantidade e qualidade dos resíduos orgânicos aportados ao solo (Matsuoka et al., 2002; Godoy et al., 2013; Van Leewing et al., 2017).

Em avaliações realizadas em áreas naturais e de florestas de araucária, impactadas ou não pela queima acidental, Baretta et al. (2010) encontraram o CBM associado aos grupos Diplopoda, Chilopoda, Arenae e Opilionidae, como observado para o presente estudo, com exceção de Opilionidae, não encontrado durante as avaliações.

Em avaliações de áreas de Mata Atlântica, floresta produtiva de eucalipto, pastagem perene, integração lavoura-pecuária e sistema de plantio direto em Santa Catarina, Rosa et al. (2015) encontraram associações do  $Al^{3+}$  à ocorrência de Isoptera, Isopoda e Arenae; MOS associada à Coleoptera, Blattodea e Formicidae, além de Hemiptera.

A ocorrência de Isoptera foi associada a altos teores de  $Al^{3+}$  por Marques et al. (2014) e, de acordo com Lavelle et al. (1994), térmitas estão associados positivamente ao acúmulo de C e outros macronutrientes em seus ninhos. Nas avaliações realizadas por Souza et al. (2016), em áreas de floresta nativa, plantios de eucalipto, pastagem perene, integração lavoura-pasto e sistemas de plantio direto, foram observadas associações entre as ordens Dermaptera, Orthoptera e Oligochaeta com teores de  $K^+$ , mas não relacionados a Isoptera, como no presente estudo, reforçando que diferentes tipos de manejo podem alterar as composições dos componentes da fauna edáfica.

Os macroinvertebrados apresentam diferentes efeitos nos processos que determinam a fertilidade do solo, podendo regular a população microbiana, responsável pela mineralização e processos de humificação, e, conseqüentemente, influenciam a ciclagem de matéria orgânica e a liberação de nutrientes assimiláveis pelas plantas; através da ação mecânica do solo, os macrorganismos da fauna edáfica contribuem para a formação de agregados estáveis que podem proteger a MOS de uma rápida mineralização, além de contribuir como potencial reserva de nutrientes para as plantas (Decaëns et al., 1994; Kibblewhite et al., 2008). Dessa forma, a capacidade da fauna edáfica em desempenhar

funções ecossistêmicas pode ser comprometida não apenas pela perda de biodiversidade, mas também nas mudanças da estrutura física e das propriedades físico-químicas.

## 2.4. CONCLUSÕES

- Os sistemas de uso do solo foram capazes de alterar quase todas as variáveis físicas do solo, grande parte das variáveis químicas e as variáveis microbiológicas do solo, especialmente o carbono microbiano.
- Nas condições de avaliação, pôde-se estabelecer relações entre os grupos da macrofauna e os atributos químicos (matéria orgânica do solo, teores de  $Al^{3+}$ ,  $K^+$  e pH) e microbiológicos (carbono da biomassa microbiana), diferenciando o uso do solo, o que possibilita o uso desses organismos como bioindicadores, embora algumas associações sejam divergentes quando se comparam diferentes solos e manejos na literatura disponível.
- Os grupos edáficos presentes no Cerrado são mais diversos.
- Em relação aos atributos físicos, o ILPF foi o sistema que apresentou as melhores condições para a agricultura, com menores densidade e microporosidade do solo e maiores macroporosidade e condutividade hidráulica saturada, quando se considera os sistemas de produção. Relação semelhante foi observada para a Pastagem de três anos, que se destacou entre os sistemas produtivos na avaliação dos atributos químicos.

## REFERÊNCIAS

ADÁMOLI, J.; MACÊDO, J.; AZEVEDO, L. G.; MADEIRA NETTO, J. **Caracterização da região dos Cerrados**. In: Solos dos Cerrados, Tecnologias e estratégias de manejo. Goedert, W. J. Brasília: EMBRAPA, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1985. p. 33-74.

ÁVILA, C.; XAVIER, L. M. S.; SANTOS, V. Fluctuation and vertical distribution of a population of brown root stink bug *Scaptocoris castanea* (Hemiptera: *Cydnidae*) in the soil profile in Mato Grosso do Sul State, Brazil. **Entomotropica**, v.31, n.5, p.40-47, 2016.

BARETTA, D.; BROWN, G. G.; CARDOSO, E. J. B. N. Potencial da macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores da qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. **Acta Zoológica Mexicana**, n. especial 2, p.135-150, 2010.

BARROS, E.; CURMI, P.; HALLAIRE, V.; CHAUVEL, A.; LAVELLE, P. The role of macrofauna in the transformation and reversibility of soil structure of an Oxisol in the process of forest to pasture conversion. **Geoderma**, v.100, p.193-213, 2001.

BARTZ, M. L. C.; BROWN, G. G.; ROSA, M. G.; KLAUBERG FILHO, O.; JAMES, S. W.; DECAËNS, T.; BARETTA, D. Earthworm richness in land-use systems in Santa Catarina, Brazil. **Applied Soil Ecology**, n.83, p.59-70, 2014.

BOTTINELLI, N.; JOUQUET, P.; CAPOWIEZ, Y.; PODWOJEWSKI, P.; GRIMALDI, M.; PENG, X. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? **Soil and Tillage Research**, v.146A, p.118-124, 2015.

BRAGA, R. M.; SOUSA, F. F.; VENTURIN, N.; BRAGA, F. A. Biomassa e atividade microbiana sob diferentes coberturas florestais. **Cerne**, v.22, n.2, p.137-144, 2016.

BRANHAM, J. E.; STRACK, M. Saturated hydraulic conductivity in Sphagnum-dominated peatlands: do microforms matter? **Hydrological Processes**, v.28, p.4352-4362, 2014.

BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, B.; JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology Biochemistry**, v.17, p.837-842, 1985.

BROSSARD, M.; FREGONEZI, A. F.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C.; PASINI, A.; VILELA, L.; AYARZA, M. A. Analysis of an illustrative interaction between structural features and earthworm populations in Brazilian ferralsols. **Comptes Rendus Geoscience**, v.344, p.41-49, 2012.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.147-157, 2009.

CERRI, C. C.; MOREIRA, C. S.; ALVES, P. A.; TOLEDO, F. H. R. B.; CASTIGIONI, B. A.; RODRIGUES, G. A. A.; CERRI, D. G. P.; CERRI, C. E. P.; TEIXEIRA, A. A.; CANDIANO, C. A. C.; REIS, M. R.; D'ALESSANDRO, S. C.; TURELLO, L. Estoques de

carbono e nitrogênio no solo devido a mudança do uso da terra em áreas de cultivo de café em Minas Gerais. **Coffee Science**, v.12, n.1, p.30-41, 2017.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.925-930, 2002.

D'ANDREA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.2, p.179-186, 2004.

DECAËNS, T.; LAVELLE, P.; JIMEZES, J.J.; ESCOBAR, G.; RIPPSTEIN, G. Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia. **European Journal of Soil Biology**, v.30, n.4, p.157-168, 1994.

DEXTER, A. R.; CZYŻ, E. A.; RICHARD, G.; RESZKOWSKA, A. A user-friendly water retention function that takes account of the textural and structural pore spaces in soil. **Geoderma**, n.143, p.243-253, 2008.

DICK, R. P. 1997. **Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health**. In Biological Indicators of Soil Health, Pankhurst CE, Doube BM, Gupta VVSR (Eds). CAB International Publishing. USA. P.121–156.

DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. Organizadores. **Manual de métodos de análise do solo**. 2<sup>a</sup> ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos: 2011.

FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G.; BALIEIRO, F. C.; MOURA, T. P. A.; MENEZES, A. R.; SANTANA, C. I. Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1457-1465, 2016.

FRANCO, L. C.; CHERUBIN, M. R.; CERRI, C. E. P.; GUIMARÃES, R. M. L.; CERRI, C. C. Relating the visual soil structure status and the abundance of soil engineering invertebrates across land use change. **Soil and Tillage Research**, v.173, p.49-52, 2017.

FROUZ, J.; ELHOTTOVA, D.; KURAZ, V.; SOURKOVA, M. Effects of soil macrofauna on other soil biota and soil formation in reclaimed and unreclaimed post mining sites: Results of a field microcosm experimente. **Applied Soil Ecology**, v.33, p.308-320, 2006.

FU, T.; CHEN, H.; ZHANG, W.; NIE, Y.; WANG, K. Vertical distribution of soil saturated hydraulic conductivity and its influencing factors in a small karst catchment in Southwest China. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.187, n.3, p.1-13, 2015.

GARLET, J.; COSTA, E. C.; BOSCARDIN, J. Caracterização da fauna edáfica em plantios de Eucalyptus spp. **Ciência Florestal**, v.23, n.3, p. 337-344, 2013.

GHANBARIAN, B.; HUNT, A. G.; SKAGGS, T. H.; JARVIS, N. Upscaling soil saturated hydraulic conductivity from pore throat characteristics. **Advances in Water Resources**, v.104, p.105-113, 2017.

- GODOY, S. G.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. B.; COBUCCI, T.; LACERDA, M. C. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo impactado por cultivos sucessivos de arroz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.12, p.1278-1285, 2013.
- KIBBLEWHITE, M. G.; RITZ, K.; SWIFT, M. J. Soil health in agricultural systems. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, n.363, p.685-701, 2008.
- KUNCORO, P. H.; KOGA, K.; SATTA, N.; MUTO, Y. A study on the effect of compaction on transport properties of soil gas and water I: Relative gas diffusivity, air permeability, and saturated hydraulic conductivity. **Soil & Tillage Research**, v.143, p.172-179, 2014. A.
- KUNCORO, P. H.; KOGA, K.; SATTA, N.; MUTO, Y. A study on the effect of compaction on transport properties of soil gas and water. II: Soil pore structure indices. **Soil & Tillage Research**, v.143, p.180-187, 2014. B.
- LAVELLE, P.; DANGERFIELD, M.; FRAGOSO, C.; ESCHENBRENNER, V.; LOPEZ-HERNANDEZ, D.; PASHANASI, B.; BRUSSAARD, L. **The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility**. In: WOOMER, P. L.; SWIFT, M. J. (Eds.), *The Biological Management of Tropical Soil Fertility*, John Wiley and Sons, Chichester, 1994, p.137-169.
- LAVELLE, P.; SPAIN, A. V. **Soil ecology**. Amsterdam: Kluwer Scientific, 2001. 678p.
- LAVELLE, P.; DECAËNS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P.; ROSSI, J. P. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, v.42, p.3-15, 2006.
- MARQUES, D. M.; SILVA, A. B.; SILVA, L. M.; MOREIRA, E. A.; PINTO, G. S. Macrofauna edáfica em diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**, v.30, n.5, p. 1588-1597, 2014.
- MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos de Cerrado e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste/MT. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2002. 25p.
- MASÍS-MELÉNDEZ, F.; DEEPAGODA, T. K. K. C.; JONGE, L. W.; TULLER, M.; MOLDRUP, P. Gas diffusion-derived tortuosity governs saturated hydraulic conductivity in sandy soils. **Journal of Hydrology**, v.512, p.388-396, 2014.
- MEDEIROS, E. V.; DUDA, G. P.; SANTOS, L. A. R.; LIMA, J. R. S.; ALMEIDA-CORTÊZ, J. S.; HAMMECKER, C.; LARDY, L.; CURNAC, L. Soil organic carbon, microbial biomass and enzyme activities responses to natural regeneration in a tropical dry region in Northeast Brazil. **Catena**, v.151, p.137-146, 2017.
- MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.3, p.435-443, 2003.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, v.34, n.3, p.963-969, 2004.

MIGUEL, P. S. B.; GOMES, F. T.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; CARVALHO, C. A.; OLIVEIRA, A. V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**, v.24, p.13-30, 2010.

OLIVEIRA, P. R.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; ROSSETI, K. V. FERRAUDO, A. S.; FRANCO, H. B. J.; PEREIRA, F. S.; BÁRBARO JÚNIOR, L. S. Qualidade estrutural de um latossolo vermelho submetido à compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.3, p.604-612, 2013.

PORTILHO, I. I. R.; CREPALDI, R. A.; BORGES, C. D.; SILVA, R. F.; SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M. Fauna invertebrada e atributos físicos e químicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1310-1320, 2011.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, n. 27, p. 29-48, 2003.

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

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GARCÍA, A. C.; BERBARA, R. L. L.; GAZOLLA, P. R.; PERIN, A.; GONZÁLEZ, A. P. Effects on the composition and structural properties of the humified organic matter of soil in sugarcane strawburning: A chronosequence study in the Brazilian Cerrado of Goiás State. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.216, p.34-43, 2016.

SANDIN, M.; KOESTEL, J.; JARVIS, N.; LARSBO, M. Post-tillage evolution of structural pore space and saturated and near-saturated hydraulic conductivity in a clay loam soil. **Soil & Tillage Research**, v.165, p.161-168, 2017.

SANTOS, F. L.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

SANTOS, F. L.; PAULINO, H. B.; CARNEIRO, M. A. C.; CAETANO, J. O.; BENITES, V. M.; SOUZA, E. D. Atributos bioquímicos do solo sob diferentes sistemas de produção no Sudoeste Goiano. **Global Science Technology**, v.8, n.2, p.74-86, 2015.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. **Matéria orgânica do solo**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. P.275-374.

SILVEIRA, E. R.; PELISSARI, A.; MORAES, A.; JAMHOUR, J. Diversidade e papel funcional da macrofauna do solo na Integração Lavoura-Pecuária. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, 4ª ed., p.1-16, 2016.

SOARES, E. M. B.; SILVA, I. R.; BARROS, N. F.; TEIXEIRA, R. S.; FONSECA, S.; VASCONCELOS, A. A.; SOUZA, R. N. Soil organic matter fractions under second-rotation Eucalyptus plantations in Eastern Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, v.41, n.1, e410107, 2017.

SOLGI, A.; NAJAFI, A. The impacts of ground-based logging equipment on forest soil. **Journal of Forest Science**, v.60, n.1, p.28-34, 2014.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico de Cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.133-139, 2003.

SOUZA, M. H.; VIEIRA, B. C. R.; OLIVEIRA, A. P. G.; AMARAL, A. A. Macrofauna do solo. **Enciclopédia Biosfera**, v.11, n.22, p.115-131, 2015.

SOUZA, S. T.; CASSOL, P. C.; BARETTA, D.; BARTZ, M. L. C.; KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; ROSA, M. G. Abundance and diversity of soil macrofauna in native forest, eucalyptus plantations, perennial pasture, integrated crop-livestock, and no-tillage cropping. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.40, e0150248, 2016. A.

SOUZA, G. P.; FIGUEIREDO, C. C.; SOUSA, D. M. G. Soil organic matter as affected by management systems, phosphate fertilization, and cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1668-1676, 2016. B.

SYSTAT SOFTWARE, San Jose, California, USA. [www.systatsoftware.com](http://www.systatsoftware.com)

SWIFT, M.J.; HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Oxford: Blackwell, 1979. 372p. (Studies in ecology, 5).

TABATABAI, M.A. **Soil enzymes**. In: Weaver, R.W.; Angle, S.; Bottomley, P.S.; Bezdick, D.; Smith, S.; Tabatabai, A.; Wollum, A. (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 2: Microbiological and Biochemical Properties*. Inc. Madison: Soil Science Society of America. 1994. p.778-833.

TAHERI, S.; PELOSI, C.; DUPONT, L. Harmful or useful? A case study of the exotic peregrine earthworm morphospecies *Pontoscolex corethrurus*. **Soil Biology and Biochemistry**, v.116, p.277-289, 2018.

TER BRAAK, C.J.F.; SMILAUER, P. **CANOCO Reference manual and Cano Draw for Windows user's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5)**. Ithaca, Microcomputer Power, 2002, 500p.

TOIGO, S.; BRAIDA, J. A.; POSSENTI, J. C.; TOIGO, C. Porosidade total, macroporosidade e microporosidade de um Nitossolo influenciadas pela escarificação e compactação adicional. IV Seminário: Sistemas de Produção Agropecuária - Ciências Agrárias, Animais e Florestais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2010.

VAN LEEWING, J. P.; DJUKIC, I.; BLOEM, J.; LEHTINEN, T.; HEMERIK, L.; DE RUITER, P. C.; LAIR, G. J. Effects of land use on soil microbial biomass, activity and community structure at different soil depths in the Danube floodplain. **European Journal of Soil Biology**, v. 79, p. 14-20, 2017.

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

VENDRAME, P. R. S.; MARCHÃO, R. L.; BRITO, O. R.; GUIMARÃES, M. F.; BECQUER, T. Relationship between macrofauna, mineralogy and exchangeable calcium and magnesium in Cerrado Oxisols under pasture. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.8, p.996-1001, 2009.

## CAPÍTULO 3

---

### CARACTERIZAÇÃO DE OLIGOCHAETA EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO NO CERRADO

#### RESUMO

**Autora:** Angela Pereira Bussinguer

**Orientador:** Alcides Gatto

**Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais**

**Brasília, 30 de maio de 2018**

O objetivo desse estudo foi caracterizar enquitreídeos e minhocas (Oligochaeta) presentes em diferentes sistemas de uso da terra em uma área de Cerrado, assim como avaliar o potencial bioindicador desses organismos por meio da influência de atributos químicos, físicos e microbiológicos em seus padrões de distribuição. O estudo foi conduzido na Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, e os sistemas de uso do solo (SUS) incluem vegetação nativa de Cerradão, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta; Sistema silvipastoril com *Leucaena leucocephala*, plantio clonal de *Eucalyptus* sp. e duas pastagens com diferentes idades e manejos. Foi encontrado um total de 37.686 enquitreídeos e 5.280 minhocas. A análise de Cluster permitiu a separação dos SUS, tanto para enquitreídeos como para minhocas, indicando que esses organismos respondem ao tipo de vegetação. Para enquitreídeos e minhocas houve dominância de gêneros com ocorrência de espécies nativas, cosmopolitas e peregrinas, especialmente nas áreas com pastagem, indicando que também são afetados pelo manejo do solo. A ocorrência de gêneros de enquitreídeos e gêneros e espécies de minhocas se mostrou dependente de uma combinação de fatores físicos, químicos e microbiológicos em maior ou menor grau, reforçando a possibilidade do uso da riqueza desses organismos como indicador de qualidade biológica ou perturbação de um solo.

**Palavras-chave:** bioindicadores, enquitreídeos, minhocas, *Guaranidrilus*, *Pontoscolex*.

## **ABSTRACT**

**Author: Angela Pereira Bussinguer**

**Advisor: Alcides Gatto**

**Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais**

**Brasilia, May 30th, 2018**

This study aims to characterize enchytraeidae and earthworms (Oligochaeta) present in different land use systems (LUS) in a Cerrado area, as well as to evaluate the bioindicator potential of these organisms through the influence of chemical, physical and microbiological attributes in their distribution patterns. The study was conducted at Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, and the LUS includes native vegetation of Cerradão, Integrated Crop-Livestock-Forest system; Silvopastoral system with *Leucaena leucocephala*, Eucalyptus sp. clonal stand and two pastures with different ages. A total of 87.601 enchytraeidae individuals and 5.280 earthworms individuals were found. The Cluster analysis allowed the separation of LUS, both for enchytraeidae and earthworms, indicating that these organisms respond to the type of vegetation. For enchytraeidae and earthworms there was dominance of genera with occurrence of native, cosmopolitan and peregrine species, especially in areas with pasture, indicating that they are also affected by the soil management. The occurrence of enchytraeidae genera and earthworm genera and species have been shown to be dependent on a combination of physical, chemical and microbiological factors to a greater or lesser extent, reinforcing the possibility of using the richness of these organisms as an indicator of biological quality or soil disturbance.

**Key words:** bioindicators, enchytraeidae, earthworms, *Guaranidrilus*, *Pontoscolex*.

### 3.1. INTRODUÇÃO

Oligochaeta é um dos principais grupos da fauna edáfica e tem como representantes mais expressivos as minhocas, seguidas dos enquitreídeos (Baretta et al., 2011), estando entre os animais mais bem-sucedidos no mundo ao habitar ambientes extremos (Lang et al., 2017).

Minhocas fazem parte da macrofauna edáfica (10 mm de comprimento e diâmetro > 2mm), enquanto enquitreídeos fazem parte da mesofauna edáfica (6-50 mm de comprimento e diâmetro entre 2 e 100 mm), de acordo com a classificação de Swift (1979), e ambos possuem funções ecológicas similares, em escalas diferentes, por estarem envolvidos na decomposição e incorporação de matéria orgânica ao solo (Didden; Marinissen, 1994) e em processos que promovem a aeração, apresentando grande influência em solos agrícolas (Pelosi; Römcke, 2016).

Minhocas auxiliam na decomposição da matéria orgânica do solo e na ciclagem de nutrientes e podem contribuir como engenheiros do solo, assim como enquitreídeos, (Jones et al., 1994) por influenciarem fisicamente o solo, direta ou indiretamente, e a viabilidade de recursos a outras espécies (Pelosi; Römcke, 2016).

As minhocas são um dos organismos da fauna edáfica mais estudados, embora a maioria dos trabalhos realizados no Brasil, e especialmente no Cerrado, apresentem apenas dados de densidade de indivíduos e poucos identifiquem esses organismos a nível de gênero ou espécies (Brown; James, 2007; Aquino et al., 2008; Marques et al., 2014).

Assim como enquitreídeos, minhocas são utilizadas para classificar a qualidade biológica de solos – principalmente sob sistemas de plantio direto – a partir da densidade e riqueza de espécies, além de ter seu uso aplicado na construção de índices de qualidade do solo (Bartz et al., 2013).

No Brasil, 85% das espécies registradas são nativas e 15% são exóticas, com aproximadamente 308 espécies conhecidas, mas a diversidade no país é estimada em até mais de 1.400 espécies (Brown; James, 2007).

A maioria das espécies nativas apresentam distribuição restrita e altos níveis de endemismo, além de serem muito sensíveis às variações ambientais, especialmente quanto à disponibilidade de água e à composição do solo, enquanto as espécies exóticas apresentam estratégias colonizadoras, principalmente de habitats em distúrbio (Righi, 1998; Brown; James, 2007).

O conhecimento das categorias ecológicas das minhocas fornece importantes informações sobre os serviços ambientais prestados por estes invertebrados (Righi, 1990), além da dimensão de atuação nas propriedades e melhorias do solo, como incorporação de matéria orgânica em profundidade ou aumento da produção de plantas (Schon et al., 2016; Jacob et al., 2017), por exemplo, sendo importante a conservação e a sustentabilidade desses organismos (Brown; James, 2007).

De acordo com Schmelz et al. (2013), a América do Sul possui grande diversidade de enquitreídeos, dominada por gêneros ou espécies ausentes ou raras em outras regiões do mundo, o que é interessante do ponto de vista filogenético e podem, por isso, serem utilizados como bons indicadores biológicos.

De um total de 710 espécies de enquitreídeos, apenas 62 são conhecidas na América Latina, de acordo com Schmelz; Collado (2015) e Schmelz et al. (2013). Novas espécies vêm sendo registradas nos últimos anos em todo o mundo, assim como uma maior aproximação da dinâmica desses organismos nos ecossistemas (Schmelz; Collado, 2015; Prantoni et al., 2016; Klinth et al., 2017). Também são poucas as informações relativas à biologia e ecologia desses organismos nativos (Römbke et al, 2015), mas têm sido utilizados em regiões de clima temperado na avaliação da qualidade e da contaminação de solos, como bioindicadores (Jänsch et al., 2005; Reinecke et al., 2016).

De acordo com a literatura, são poucos os estudos relativos à abundância e identificação de enquitreídeos na América Latina (Römbke; Meller, 1999; Römbke, 2007; Schmelz et al., 2013), especialmente os realizados com a extração úmida (Niva et al., 2015). O presente trabalho é um dos pioneiros utilizando o método da extração úmida quente na área do Cerrado brasileiro (Silva et al., 2006A; Aquino et al., 2008; Niva et al., 2015).

Até o momento, não se tem dados publicados sobre a diversidade de enquitreídeos no Cerrado, *hotspot* de biodiversidade reconhecido mundialmente (Silva; Bates, 2002; Strassburg et al.; 2017), mas existem registros de espécies desconhecidas (informação pessoal). Além disso, de acordo com Pelosi; Römbke (2016), são poucos os trabalhos publicados sobre os efeitos de atividades agrícolas sobre esses organismos.

Dessa forma, o objetivo do estudo foi caracterizar enquitreídeos e minhocas presentes em seis diferentes sistemas de uso do solo em uma área de Cerrado do Distrito Federal, assim como avaliar o potencial bioindicador desses organismos por meio da influência de atributos químicos, físicos e microbiológicos em seus padrões de distribuição.

## 3.2. MATERIAS E MÉTODO

### 3.2.1. ÁREA DE ESTUDO

Ver descrição em Metodologia Geral (páginas 5 e 6).

### 3.2.2. AMOSTRAGEM DE MINHOCAS E ENQUITREÍDEOS

A amostragem de minhocas e enquitreídeos foi realizada no final da estação chuvosa, na primeira quinzena de abril de 2015. Foi realizada uma segunda coleta de enquitreídeos na segunda quinzena de maio do mesmo ano, no início da época seca.

As minhocas foram amostradas de acordo com o método TSBF (*Tropical Soil Biology and Fertility*) proposto por Anderson; Ingram, (1993), que consiste da retirada de monólitos de solo com auxílio de um gabarito metálico com as dimensões de 25x25 cm, a 20 cm de profundidade. A amostragem foi realizada em cinco pontos equidistantes 10 m entre si, em um transecto dentro de cada área, totalizando 30 amostras para as seis áreas avaliadas.

A amostragem de enquitreídeos nas duas épocas foi realizada em um transecto, em 10 pontos amostrais por área avaliada, onde o solo foi coletado próximo aos monólitos das coletas de minhocas com a utilização de anel volumétrico de 5 cm de diâmetro x 5 cm altura, inseridos ao nível do solo com auxílio de uma tábua de madeira sobre o anel e um martelo de borracha, com a finalidade de não compactar o solo dentro do cilindro.

Após a coleta, os monólitos e as amostras deformadas de solo foram acondicionados, individualmente, em sacos plásticos reforçados, identificados por ponto amostral e por área. O uso de sacos plásticos tem a finalidade, além de facilitar o transporte, manter a umidade do material amostrado, já que a sobrevivência da fauna é dependente desse fator.

### 3.2.3. TRIAGEM E IDENTIFICAÇÃO DE OLIGOCHAETA

As amostras individuais de solo, identificadas por sistema de uso do solo, foram dispostas em bandejas plásticas e as minhocas foram triadas manualmente. Os organismos encontrados foram então armazenados em frascos identificados por área de coleta, contendo solução de álcool 99%.

Após a triagem, os frascos contendo as minhocas foram levados para o Laboratório de Nematologia localizado na Embrapa Cerrados para posterior contagem e identificação taxonômica, no mínimo a nível de gênero, de acordo com Righi (1990, 1995) e Blakemore (2002).

Procedeu-se à extração de enquitreídeos conforme recomendações do protocolo ISO 23611-3 (ISO, 2007), e pelo método quente úmido, de acordo com Niva et al. (2010). A identificação dos enquitreídeos foi realizada em microscópio ótico com indivíduos vivos e até o nível de gênero, com auxílio de um guia de identificação (Schmelz; Collado, 2010).

#### 2.3.4. ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E MICROBRIOLÓGICOS DO SOLO

Médias dos atributos químicos, físicos e microbiológicos podem ser visualizadas nas Tabelas 3.1, 3.2 e 3.3, respectivamente, e detalhes de suas coletas e determinações podem ser consultados no Capítulo 2, item 2.2.3, páginas 33 e 34.

Tabela 3.1. Valores médios e desvio padrão dos atributos químicos nos diferentes sistemas de uso do solo (SUS) na camada de 0-20 cm de profundidade do solo (Cer: Cerradão; ILPF: Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta; Euc: Plantio de *Eucalyptus* sp.; Leu: Sistema Silvistoril de *Leucaena leucocephala*; Past3: Pastagem de *Urochloa brizantha* a pleno sol; Past6: Pastagem contínua de *Urochloa brizantha* de baixa produtividade).

| SUS   | pH                   | P*                        | K <sup>+</sup>          | Ca <sup>2+</sup>                               | Mg <sup>2+</sup>      | Al <sup>3+</sup>      | CTC                  | MO                   | C                        | N                    | C:N                   |
|-------|----------------------|---------------------------|-------------------------|--|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|
|       | H <sub>2</sub> O     | -- mg dm <sup>-3</sup> -- |                         | ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |                       |                       |                      | dag kg <sup>-1</sup> | -- g kg <sup>-1</sup> -- |                      | ---                   |
| Cer   | 4,36<br>(±0,17)<br>c | 1,80<br>(±0,76)<br>a      | 56,30<br>(±17,17)<br>a  | 0,13<br>(±0,08)<br>c                           | 0,25<br>(±0,12)<br>d  | 2,78<br>(±0,40)<br>a  | 3,30<br>(±0,25)<br>b | 5,64<br>(±1,38)<br>a | 40,99<br>(±10,57)<br>a   | 3,86<br>(±0,81)<br>a | 10,66<br>(±1,74)<br>a |
|       | 5,25<br>(±0,44)<br>b | 1,32<br>(±1,07)<br>a      | 54,50<br>(±56,88)<br>a  | 2,42<br>(±1,76)<br>b                           | 1,35<br>(±0,86)<br>ab | 0,24<br>(±0,24)<br>bc | 4,14<br>(±0,94)<br>b | 3,96<br>(±0,78)<br>b | 25,20<br>(±4,64)<br>b    | 3,16<br>(±1,88)<br>a | 9,11<br>(±2,47)<br>a  |
| Past3 | 6,01<br>(±0,55)<br>a | 3,14<br>(±1,40)<br>a      | 112,40<br>(±93,44)<br>a | 4,05<br>(±1,82)<br>a                           | 1,94<br>(±0,89)<br>a  | 0,02<br>(±0,01)<br>c  | 6,30<br>(±1,34)<br>a | 4,10<br>(±0,83)<br>b | 26,73<br>(±5,13)<br>b    | 3,20<br>(±0,90)<br>a | 8,95<br>(±2,74)<br>a  |
|       | 5,01<br>(±0,16)<br>b | 4,30<br>(±3,94)<br>a      | 76,30<br>(±38,93)<br>a  | 1,20<br>(±0,55)<br>bc                          | 0,38<br>(±0,24)<br>cd | 0,56<br>(±0,28)<br>b  | 2,33<br>(±0,40)<br>b | 2,79<br>(±0,64)<br>c | 25,39<br>(±4,22)<br>b    | 3,20<br>(±1,53)<br>a | 8,98<br>(±2,63)<br>a  |
| Leu   | 5,13<br>(±0,16)<br>b | 0,75<br>(±0,19)<br>a      | 34,70<br>(±11,77)<br>a  | 2,26<br>(±0,42)<br>b                           | 1,34<br>(±0,42)<br>ab | 0,13<br>(±0,13)<br>b  | 3,81<br>(±0,36)<br>b | 3,71<br>(±0,39)<br>b | 24,64<br>(±3,30)<br>b    | 2,82<br>(±0,78)<br>a | 9,09<br>(±1,54)<br>a  |
| Euc   | 4,86<br>(±0,24)<br>b | 4,80<br>(±6,01)<br>a      | 54,30<br>(±33,20)<br>a  | 1,95<br>(±1,05)<br>b                           | 0,92<br>(±0,48)<br>bc | 0,31<br>(±0,30)<br>b  | 3,32<br>(±0,44)<br>b | 3,76<br>(±0,39)<br>b | 25,63<br>(±2,88)<br>b    | 2,57<br>(±0,55)<br>a | 10,37<br>(±2,32)<br>a |

\*Melich -1. Letras diferentes indicam diferença estatística entre os sistemas pelo teste de Tukey (P < 0,01).

### 3.2.4. AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS ECOLÓGICOS DE OLIGOCHAETA

Os atributos ecológicos da fauna edáfica foram avaliados por meio da abundância absoluta, expressos em densidade relativa ( $\text{ind m}^{-2}$ ), e da riqueza (S) relativa ao número total de gêneros ou espécies observadas para enquitreídeos e minhocas em cada área avaliada.

Para enquitreídeos, a primeira coleta é relativa à análise exploratória, realizada com a finalidade de avaliar a existência de tais indivíduos nas áreas e os dados obtidos e apresentados são relativos apenas à densidade, já que os mesmos não foram identificados.

As minhocas foram classificadas em grupos ecológicos de acordo com Bouchè (1977) em anécicas, endogéicas e epigéicas, mas também foi levado em consideração as subdivisões da classificação ecológica de Righi (1990) adaptadas para espécies tropicais.

Espécies anécicas se referem a esses organismos que vivem no solo mineral (40 cm de profundidade ou mais) e que se alimentam de matéria orgânica em decomposição na superfície do solo e serapilheira; endogéicas, às minhocas que vivem no solo mineral (consideradas por Righi (1990) como hipoendogéicas) ou fértil (epiendogéicas, também de acordo com Righi (1990)) e se alimentam nele, e espécies epigéicas, se referem às minhocas que vivem e se alimentam na superfície do solo (0-10 cm) ou serapilheira (cascas de árvores, raízes, folhas, bromélias) (Bouchè, 1977).

Tabela 3.2. Valores médios e desvio padrão dos parâmetros físicos do solo, a uma profundidade de 0-20 cm (Densidade; PT: Porosidade total; Mic: Microporosidade; Mac: Macroporosidade;  $K_s$ : Condutividade hidráulica saturada) nos diferentes sistemas de uso do solo (SUS) (Cer: Cerradão; ILPF: Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta; Euc: Plantio de *Eucalyptus* sp.; Leu: Sistema Silvopastoril de *Leucaena leucocephala*; Past3: Pastagem de *Urochloa brizantha* a pleno sol; Past6: Pastagem contínua de *Urochloa brizantha* de baixa produtividade).

| SUS   | Densidade                | PT                        | Mic                         | Mac                       | $K_s$                         |
|-------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|
|       | $\text{Mg m}^{-3}$       |                           | $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ |                           | $\text{mm h}^{-1}$            |
| Cer   | 0,88<br>( $\pm 0,04$ ) d | 0,56<br>( $\pm 0,01$ ) b  | 0,38<br>( $\pm 0,03$ ) c    | 0,18<br>( $\pm 0,02$ ) a  | 206,84<br>( $\pm 133,66$ ) ab |
| ILPF  | 1,08<br>( $\pm 0,04$ ) c | 0,61<br>( $\pm 0,02$ ) a  | 0,43<br>( $\pm 0,03$ ) bc   | 0,17<br>( $\pm 0,02$ ) a  | 369,90<br>( $\pm 222,22$ ) a  |
| Past3 | 1,18<br>( $\pm 0,04$ ) b | 0,62<br>( $\pm 0,01$ ) a  | 0,54<br>( $\pm 0,02$ ) a    | 0,09<br>( $\pm 0,02$ ) b  | 41,85<br>( $\pm 60,98$ ) b    |
| Past6 | 1,34<br>( $\pm 0,04$ ) a | 0,63<br>( $\pm 0,01$ ) a  | 0,53<br>( $\pm 0,05$ ) a    | 0,11<br>( $\pm 0,05$ ) ab | 60,07<br>( $\pm 74,74$ ) b    |
| Leu   | 1,20<br>( $\pm 0,04$ ) b | 0,62<br>( $\pm 0,04$ ) a  | 0,51<br>( $\pm 0,04$ ) ab   | 0,11<br>( $\pm 0,02$ ) ab | 23,31<br>( $\pm 9,24$ ) b     |
| Euc   | 1,19<br>( $\pm 0,03$ ) b | 0,65<br>( $\pm 0,004$ ) a | 0,53<br>( $\pm 0,03$ ) a    | 0,11<br>( $\pm 0,03$ ) ab | 22,40<br>( $\pm 18,75$ ) b    |

Letras diferentes indicam diferença estatística entre os sistemas pelo teste de Tukey ( $P < 0,01$ ).

### 3.2.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para o tratamento estatístico dos dados, tendo como objetivo a diferenciação dos sistemas de uso do solo avaliados, foi realizada uma análise de agrupamentos (Análise de Cluster), onde foi adotado o método da mínima variância (Wards) e como medida de dissimilaridade foi utilizada a distância euclidiana quadrática.

Com a finalidade de avaliar a influência das variáveis ambientais (químicas, físicas e microbiológicas) na densidade e riqueza de enquitreídeos e minhocas, bem como a aplicação dos organismos da fauna edáfica como possíveis bioindicadores, foi utilizado o modelo de regressão múltipla de Poisson com função de ligação canônica.

O modelo de Poisson é resultante de uma combinação de modelos lineares generalizados e modelos aditivos generalizados, que leva em consideração dados de contagem não negativos e é utilizado para distribuições não normais de dados. As análises de Cluster e de Poisson foram realizadas com o programa R versão 3.4.0 (R Core Team 2017).

Tabela 3.3. Valores médios e desvio padrão dos parâmetros microbiológicos (Fosfatase ácida, Carbono da biomassa microbiana (CBM) e Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM)) nos diferentes sistemas de uso do solo (SUS) (Cer: Cerradão; ILPF: Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta; Euc: Plantio de *Eucalyptus* sp.; Leu: Sistema Silvopastoril de *Leucaena leucocephala*; Past3: Pastagem de *Urochloa brizantha* a pleno sol; Past6: Pastagem contínua de *Urochloa brizantha* de baixa produtividade).

| SUS   | Fosfatase ácida                                  | CBM                           | NBM                        |
|-------|--|-------------------------------|----------------------------|
|       | $\mu\text{g P-nitrofenol h}^{-1} \text{ g}^{-1}$ | $\text{mg C kg}^{-1}$         | $\text{mg N kg}^{-1}$      |
| Cer   | 1909.81<br>( $\pm 271.38$ ) a                    | 1077.81<br>( $\pm 177.08$ ) a | 83.06<br>( $\pm 21.62$ ) a |
| ILPF  | 871.95<br>( $\pm 118.34$ ) b                     | 896.26<br>( $\pm 266.20$ ) ab | 71.86<br>( $\pm 19.47$ ) a |
| Past3 | 674.38<br>( $\pm 113.67$ ) b                     | 668.75<br>( $\pm 128.28$ ) bc | 79.63<br>( $\pm 16.95$ ) a |
| Past6 | 833.38<br>( $\pm 188.19$ ) b                     | 654.56<br>( $\pm 127.43$ ) bc | 65.94<br>( $\pm 7.74$ ) a  |
| Leu   | 929.29<br>( $\pm 272.65$ ) b                     | 545.67<br>( $\pm 124.19$ ) bc | 48.01<br>( $\pm 17.93$ ) a |
| Euc   | 615.82<br>( $\pm 207.44$ ) b                     | 514.18<br>( $\pm 28.36$ ) c   | 47.11<br>( $\pm 8.28$ ) a  |

Letras diferentes indicam diferença estatística entre os sistemas pelo teste de Tukey ( $P < 0,01$ ).

### 3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3.1. DENSIDADE E RIQUEZA

##### 3.3.1.1. Enquitreídeos

Observou-se a presença de 87.601 indivíduos na primeira coleta de invertebrados da família Enchytraeidae, realizada no final da estação chuvosa, e 37.686 indivíduos na coleta realizada no início da estação seca (Tabela 3.4).

Tabela 3.4. Densidade (ind m<sup>-2</sup>) total da mesofauna edáfica em duas épocas de avaliação em área natural de Cerradão (Cer), áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), pastagem de *Urochloa brizantha* a Pleno Sol com três anos (Past3), pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade (Past6), sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* (Leu) e plantio de *Eucalyptus* sp. (Euc). I: final do período chuvoso (abril/2015); II: início da seca (maio/2015).

| Densidade           | Sistema    |       |        |       |       |        | Total  |
|---------------------|------------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|
|                     | Cer        | ILPF  | Past3  | Past6 | Leu   | Euc    |        |
|                     | Abril/2015 |       |        |       |       |        |        |
| ind m <sup>-2</sup> | 28.012     | 5.602 | 16.807 | 5.602 | 1.019 | 30.559 | 87.601 |
| %                   | 32,0       | 6,4   | 19,2   | 6,4   | 1,2   | 34,9   | 100    |
|                     | Maio/2015  |       |        |       |       |        |        |
| ind m <sup>-2</sup> | 22.918     | 4.074 | 7.130  | 2.546 | 509   | 509    | 37.686 |
| %                   | 60,8       | 10,8  | 18,9   | 6,8   | 1,4   | 1,4    | 100    |

A abundância de enquitreídeos encontrada nas duas coletas é comparável aos valores obtidos em regiões temperadas, variando de 20.000 a 60.000 ind m<sup>-2</sup> (Jänsch et al., 2005), e considerada alta para os valores encontrados na América do Sul e em regiões tropicais, entre 2.000 e 7.000 ind m<sup>-2</sup>, com densidade máxima de 23.000 ind m<sup>-2</sup> em uma floresta da Malásia (Römbke, 2007). Niva et al. (2015), encontraram valores médios de 12.000 ind m<sup>-2</sup> ao avaliarem fragmentos de Floresta Mista de Araucária no Paraná, com valores totais de abundância superiores a 200.000 ind m<sup>-2</sup>.

Quando avaliados separadamente, os sistemas apresentaram densidades diferentes (Tabela 3.4), com o Cerradão alcançando valores de 28.000 a 23.000 ind m<sup>-2</sup>, respectivamente às épocas de coletas, superiores aos encontrados por Silva et al. (2006A),

240 a 3.447 ind m<sup>-2</sup> em duas épocas de avaliação, Silva et al. (2008), 7.758 ind m<sup>-2</sup>, e Aquino et al. (2008), 1.818 ind m<sup>-2</sup>, também em regiões de Cerrado. Contudo, tais autores realizaram a extração manual de enquitreídeos, subestimando a abundância desse grupo no bioma.

As avaliações feitas por Silva et al., (2006A) foram realizadas no período seco e chuvoso e, assim como no presente trabalho, foi observada diminuição dos indivíduos no período seco. Esses autores verificaram que em área de Cerrado os valores de densidade foram maiores que nos sistemas de plantio de direto (0 a 123 ind m<sup>-2</sup>), de integração lavoura-pecuária (0 a 27 ind m<sup>-2</sup>), sistema convencional de plantio (0 a 13 ind m<sup>-2</sup>) e de pastagem contínua (0 a 29 ind m<sup>-2</sup>). Os autores sugerem que a maior abundância de indivíduos no sistema natural em relação aos demais é decorrente da maior diversidade de microhabitats e maior oferta de recursos energéticos, proporcionada pela biodiversidade vegetal do Cerrado.

Ao avaliarem densidade e riqueza de grupos da macrofauna em área nativa de Cerrado, sistema de plantio convencional, plantio direto, sistema de integração lavoura-pecuária nas fases lavoura e na fase pecuária, e pastagem contínua em Dourados, MS, Silva et al. (2008), observaram maior ocorrência de enquitreídeos na vegetação nativa, com um total de 7.758 ind m<sup>-2</sup> e apenas 70 e 5 ind m<sup>-2</sup> nas áreas de pastagem contínua e sistema integração lavoura-pecuária na fase lavoura, respectivamente. Os demais sistemas não apresentaram enquitreídeos em nenhuma das épocas de avaliação e os autores também atribuem a forte dominância desses indivíduos no Cerrado (52,2% do total da densidade da comunidade) a um ambiente mais estável em termos de temperatura, umidade e melhor qualidade e abundância de matéria orgânica.

Houve redução de abundância entre as épocas em todos os sistemas de uso do solo avaliados (Tabela 3.4). O ILPF apresentou menor redução entre as épocas (5.602 para 4.074 ind m<sup>-2</sup>), o que pode estar relacionado ao microclima proporcionado pela presença de árvores, assim como a disponibilidade de alimento proveniente da pastagem, o que auxilia numa maior estabilidade de condições.

As Pastagens de três e seis anos apresentaram reduções expressivas (Tabela 3.4), com a Pastagem de três anos atingindo valores superiores, na primeira coleta, aos encontrados para pastos em áreas tropicais e a Pastagem de seis anos estando dentro da margem esperada, de 500 a 7.000 ind m<sup>-2</sup>, de acordo com Römcke, (2007). A flutuação de abundância na *Leucena* foi de aproximadamente metade do número de indivíduos, mas a maior redução foi observada para o *Euc* (Tabela 3.4).

A diferença de indivíduos entre as avaliações pode ser devida à quantidade de umidade no solo no momento da coleta, com a possibilidade de migração desses organismos para camadas mais profundas, conformem sugerem Van Vliet et al., (1997) e Jänsch et al., (2005). Ainda de acordo com Jänsch et al., (2005), as flutuações sazonais podem afetar a abundância de enquitreídeos em até 100.000 ind m<sup>-2</sup> ou mais e a influência da umidade na ocorrência desse grupo é dependente de outros fatores do solo, como temperatura e teor de matéria orgânica, indicando que o tipo de manejo utilizado reflete diretamente na dinâmica da fauna edáfica de uma área.

Os indivíduos encontrados na segunda coleta estão distribuídos em seis gêneros, onde os mais representativos foram *Guaranidrilus* sp. com 47,30% do total e *Fridericia* sp. com 28,38%, seguidos por *Hemienchytraeus* sp. com 9,46%, *Enchytraeus* sp. e *Achaeta* sp. com 6,76% cada e *Tupidrilus* sp. com 1,35% (Tabela 3.5).

Tabela 3.5. Riqueza de gêneros de enquitreídeos e percentual em relação à densidade total em área natural de Cerradão (Cer), áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), pastagem de *Urochloa brizantha* a Pleno Sol com três anos (Past3), pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade (Past6), sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* (Leu) e plantio de *Eucalyptus* sp. (Euc).

| Família                  | Gênero                                 | Sistema          |                 |                 |                |              |              | Densidade total (ind m <sup>-2</sup> ) |
|--------------------------|--|------------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------|--------------|--|
|                          |  | Cer              | ILPF            | Past3           | Past6          | Leu          | Euc          |  |
| Enchytraeidae            | Achaeta                                | 509<br>1,35%     |                 |                 | 1.528<br>4,05% |              | 509<br>1,35% | 2.546<br>6,75%                         |
|                          | Enchytraeus                            | 2.037<br>5,40%   |                 |                 | 509<br>1,35%   |              |              | 2.546<br>6,75%                         |
|                          | Fridericia                             |                  | 4.074<br>10,81% | 6.621<br>17,57% |                |              |              | 10.695<br>28,38%                       |
|                          | Guaranidrilus                          | 16.807<br>44,60% |                 | 509<br>1,35%    |                | 509<br>1,35% |              | 17.825<br>47,30%                       |
|                          | Hemienchytraeus                        | 3.056<br>8,11%   |                 |                 | 509<br>1,35%   |              |              | 3.565<br>9,46%                         |
|                          | Tupidrilus                             | 509<br>1,35%     |                 |                 |                |              |              | 509<br>1,35%                           |
|                          | Densidade total (ind m <sup>-2</sup> ) | 22.918<br>60,81% | 4.074<br>10,81% | 7.130<br>18,92% | 2.546<br>6,75% | 509<br>1,35% | 509<br>1,35% | 37.686<br>100%                         |
| Riqueza total de gêneros | 5                                      | 1                | 2               | 3               | 1              | 1            |              |  |

De acordo com Römcke (2007), quando comparadas às áreas temperadas, a composição de espécies e gêneros é diferente nos trópicos, dominados pelos gêneros *Guaranidrilus* e *Hemienchytraeus*, enquanto as áreas temperadas são geralmente dominadas por gêneros como *Cognettia*, *Fridericia*, *Henlea* e *Mesenchytraeus*. Entretanto, na presente

avaliação, os gêneros dominantes foram *Guaranidrilus* e *Fridericia*, o que pode indicar, de acordo com Römcke et al. (2007), que a ocorrência e abundância de gêneros como *Fridericia* e *Enchytraeus* estejam negativamente correlacionadas com a qualidade biológica dos solos avaliados, já que tais espécies tendem a ocorrer em áreas com algum grau de distúrbio. Römcke et al. (2015) observaram um padrão de dominância para *Guaranidrilus* a nível de espécies em área de Mata Atlântica.

Os resultados encontrados para a riqueza estão de acordo com a diversidade de gêneros encontrada nas investigações pioneiras realizadas na Amazônia por Römcke; Meller (1999), onde foram observados os gêneros *Guaranidrilus* e *Hemienchytraeus*, considerados como os principais gêneros neotropicais, e os gêneros do hemisfério norte *Achaeta* e *Enchytraeus*. A investigação encontrou, ainda, o total de 20 espécies, indicando que a fauna edáfica dessa região é relativamente diversa em relação aos solos de regiões temperadas.

O Cerradão foi o sistema mais diverso, apresentando cinco gêneros (*Guaranidrilus*, *Hemienchytraeus*, *Enchytraeus*, *Achaeta* e *Tupidrilus*), seguido pela Pastagem de seis anos com três gêneros (*Achaeta*, *Enchytraeus* e *Hemienchytraeus*), Pastagem de três anos com dois (*Fridericia* e *Guaranidrilus*) e ILPF, Leucena e Eucalipto sendo representados por apenas um gênero (*Fridericia*, *Guaranidrilus* e *Achaeta*, respectivamente) (Tabela 3.5).

Os resultados encontrados estão de acordo com as avaliações realizadas em Mata Atlântica por Niva et al., (2015), onde foram encontrados os gêneros *Guaranidrilus*, mais frequentes em florestas primárias, *Hemienchytraeus*, *Enchytraeus*, menos frequentes em florestas primárias, *Fridericia*, encontrado quase que exclusivamente em pastos, e *Achaeta*.

Durante avaliação de enquitreídeos em área de Mata Atlântica do Paraná em áreas de Cambissolo e Gleissolo e em pastagens, floresta primária e florestas secundárias em diferentes estágios de regeneração, Römcke et al. (2015), observaram uma baixa abundância de indivíduos (abaixo de 5.000 ind m<sup>-2</sup>), com maiores valores obtidos para as florestas primárias, e uma dominância de espécies dos gêneros *Achaeta* (seis espécies), *Guaranidrilus* (com 39 espécies, sendo o mais diverso de toda a área de estudo) e *Hemienchytraeus* (nove espécies), mas também foram encontrados os gêneros *Fridericia* (duas espécies), *Enchytraeus* (uma espécie), *Tupidrilus* (uma espécie) e *Xetadrilus* (cinco espécies).

Römcke et al. (2015) indicam possíveis endemismos a nível de espécies (*Achaeta paranaensis*), embora o banco de dados não seja robusto o suficiente para tal predição, mas o perfil de espécies apresentou-se composto por espécies de ampla distribuição na América do Sul (*Hemienchytraeus sp.*) e algumas espécies peregrinas provavelmente introduzidas de outros continentes (*Fridericia* e *Enchytraeus*). Os autores ainda observaram que houve um

aumento do número de espécies com a idade da floresta, e conseqüentemente, menor impacto humano, em áreas de Cambissolo. Os indivíduos encontrados no presente trabalho não foram identificados a nível de espécie, mas se observa relação semelhante quanto ao número de gêneros em áreas de Latossolo, já que a Pastagem de seis anos é o sistema implantado há mais tempo, entre os avaliados, e pode ser resultante do estabelecimento de relações que promovem a estabilidade do sistema.

Os gêneros *Hemienchytraeus* e *Guaranidrilus* foram descritos pela primeira vez na Argentina, embora *Hemienchytraeus* seja um gênero cosmopolita e seja de ampla distribuição no Hemisfério Sul do continente americano, e *Guaranidrilus* tenha sua ocorrência registrada apenas na América do Sul. *Achaeta*, *Enchytraeus* e *Fridericia* também são gêneros cosmopolitas, entretanto as espécies que ocorrem na região são diferentes de outras regiões tropicais ou subtropicais. Já o gênero *Tupidrilus* foi descrito no Brasil e tem sua ocorrência registrada apenas na América do Sul (Schmelz et al., 2013).

De maneira geral, as espécies do gênero *Fridericia* são consideradas peregrinas e possuem perfis ecológicos similares, ocorrendo preferencialmente em solos levemente ácidos ou neutros em pastagens ou áreas agrícolas e em solos com algum tipo de distúrbio ou com recursos alimentares desbalanceados, podendo haver dominância também de espécies do gênero *Enchytraeus* em solos com essas características (Jänsch et al., 2005; Schmelz et al., 2013), o que pode justificar a presença desses gêneros nas áreas de ILPF, Pastagem de três anos e Pastagem de seis anos. De acordo com Römcke et al. (2007), há evidências de que, no Brasil, a ocorrência do gênero *Fridericia* seja dependente de paisagens abertas, como pastagens, criadas por atividade humana, embora tal gênero não tenha sido encontrado na Pastagem de seis anos.

### 3.3.1.2. Minhocas

A soma da densidade de minhocas quantificadas nos sistemas de uso do solo apresentou um total de 5.280 indivíduos, além de ter sido observada a presença de muitos casulos de minhocas. As áreas com *Urochloa brizantha* possuíram as maiores densidades, na ordem ILPF > Past3 > Past6 > Leu; o Cer apresentou 160 ind m<sup>-2</sup> e o Euc não apresentou nenhum indivíduo (Tabela 3.6).

De acordo com a literatura, existe uma tendência de maiores populações de minhocas em sistemas de manejo mais conservacionistas, principalmente devido à uma maior disponibilidade de alimento e maior retenção da umidade do solo, com consequente diminuição de amplitudes térmicas e menor perturbação no habitat desses organismos (Chan, 2001; Freitas; Dionísio, 2014).

Tabela 3.6. Densidade (ind m<sup>-2</sup>) e riqueza de minhocas na camada de 0-20 cm de profundidade, em área natural de Cerradão (Cer), áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), pastagem de *Urochloa brizantha* a Pleno Sol com três anos (Past3), pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade (Past6), sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* (Leu) e plantio de *Eucalyptus* sp. (Euc).

| Família                                | Gênero       | Sistema     |                |                |                |             |         | Densidade total (ind m <sup>-2</sup> ) |
|--|--------------|-------------|----------------|----------------|----------------|-------------|---------|--|
|  |              | Cer         | ILPF           | Past3          | Past6          | Leu         | Euc     |  |
| Acanthodrilidae                        | Dichogaster  |             | 1.904<br>36,1% | 1.376<br>26,1% | 672<br>12,7%   | 432<br>8,2% |         | 4.384<br>83,1%                         |
|  | Andiorrhinus | 32<br>0,6%  |                |                |                |             |         | 32<br>0,6%                             |
| Glossoscolecidae                       | Pontoscolex  | 128<br>2,4% |                |                | 720<br>13,6%   |             |         | 848<br>16%                             |
|  | Righiodrilus |             |                |                |                | 16<br>0,3%  |         | 16<br>0,3%                             |
| Densidade total (ind m <sup>-2</sup> ) |              | 160<br>3%   | 1.904<br>36,1% | 1.376<br>26,1% | 1.392<br>26,3% | 448<br>8,5% | 0<br>0% | 5.280<br>100%                          |
| Riqueza total de gêneros               |              | 2           | 1              | 1              | 2              | 2           | 0       |  |

Em estudo realizado por Kernecker et al. 2015, em áreas de floresta ripária e de agricultura convencional de soja e milho no Canadá, foi encontrada maior quantidade de minhocas nas áreas naturais (460 ind m<sup>-2</sup>) que em áreas de agricultura (325 ind m<sup>-2</sup>). Os autores também atribuem os resultados à maior diversidade florística presente nas áreas naturais e à ausência de práticas de manejo como revolvimento e exposição do solo, com consequente alteração de temperatura e umidade.

Entretanto, de acordo com Batista et al. (2014), a abundância encontrada em áreas de plantio direto pode ser menor que em áreas de pastagens. Os valores de densidade de minhocas encontrados no Cerradão, embora inferiores aos encontrados nos demais sistemas avaliados, são semelhantes aos de áreas de plantio direto com alto acúmulo de matéria orgânica (176 ind m<sup>-2</sup>), conforme observado por Tanck et al. (2000).

Durante a caracterização da macrofauna edáfica em área de vegetação nativa do Cerrado e sistemas de produção de grãos sob sistemas de plantio direto e plantio convencional no Piauí, na região de Matopiba, Santos et al. (2016) encontraram 7 minhocas  $m^{-2}$  no plantio convencional, 2 ind  $m^{-2}$  no plantio direto e nenhum indivíduo foi encontrado no Cerrado avaliado.

Ao avaliar a densidade de grupos da macrofauna em área nativa de Cerrado, plantio convencional, plantio direto, sistema de integração lavoura-pecuária e pastagem contínua em Dourados, MS, Silva et al. (2006B), encontraram densidade de minhocas similar à do Cerradão (107 ind  $m^{-2}$ ). Entretanto, para os sistemas de integração lavoura-pecuária (77 ind  $m^{-2}$ ), pastagem contínua (73 ind  $m^{-2}$ ), plantio direto (57 ind  $m^{-2}$ ) e plantio convencional (15 ind  $m^{-2}$ ), todos os valores encontrados pelos autores foram inferiores aos encontrados nesse estudo.

Durante avaliação de densidade e riqueza de grupos da macrofauna na mesma área de Cerrado em Dourados, MS, (Silva et al., 2006B), Silva et al. (2008), encontraram uma associação positiva entre a presença de minhocas com sistema integração lavoura-pecuária na fase pecuária (225 ind  $m^{-2}$ ) e à pastagem contínua (363 ind  $m^{-2}$ ). Para o sistema convencional foram encontrados 3 ind  $m^{-2}$ , no sistema integração lavoura-pecuária na fase lavoura 216 ind  $m^{-2}$  e no Cerrado foram observados 535 ind  $m^{-2}$ .

De acordo com Lavelle (1988), áreas com pastagens permanentes tendem a apresentar uma densidade de minhocas superior à de áreas ocupadas com lavoura. As raízes provenientes das pastagens fornecem maior conteúdo de matéria orgânica favorecendo a presença de minhocas (Chan, 2001), além de reter a umidade do solo, fator importantíssimo na distribuição e abundância desses organismos em solos tropicais (Lavelle, 1983).

Durante avaliação de macrofauna em áreas de Cerradão, pasto/milho, milho+braquiária/algodão e algodão/soja durante as épocas seca e chuvosa em Maracaju, MS, Batista et al. (2014), encontraram 85% (384 ind  $m^{-2}$ ) do total de indivíduos como representantes do grupo Oligochaeta (minhocas) na área de pasto/milho durante a época chuvosa. Os valores encontrados são atribuídos ao teor de umidade mais elevado e à maior densidade de raízes produzidas pela pastagem, ressaltando a importância do efeito da sazonalidade como fator chave para a sobrevivência desses grupos, principalmente em indivíduos pouco móveis no solo, de acordo com os autores.

Em estudo avaliando a produção de pastos (para criação de ovelhas, produção de lã e carne de gado) na presença de diferentes espécies de minhocas na Nova Zelândia, Schon et al. (2016), encontraram valores de densidade superiores a 1.000 ind  $m^{-2}$ , considerados

internacionalmente altos para pastos, correspondendo aos valores de abundância encontrados nos sistemas de uso de solo avaliados com presença de pastagem (ILPF, Pastagem de três anos e Pastagem de seis anos), com exceção de Leucena.

Ao avaliar os efeitos que culturas de eucalipto e cana-de-açúcar e os atributos químicos do solo, além de uma área de mata nativa exercem sobre a composição da macrofauna em Jacutinga, MG, Martins et al. (2017), observaram uma densidade de minhocas de 27 ind m<sup>-2</sup> no eucalipto e 53 ind m<sup>-2</sup> na cana-de-açúcar, e nenhum indivíduo foi observado na mata nativa.

Nos sistemas de uso do solo foram identificadas minhocas pertencentes às famílias Acanthodrilidae e Glossoscolecidae, a quatro gêneros (Tabela 3.6) e seis espécies: *Dichogaster saliens*, *Dichogaster* spp1., *Dichogaster* spp2., *Andiorrhinus* (Amazonidrilus) spp., *Righiodrilus* spp. e *Pontoscolex corethrurus*.

As espécies de maior distribuição foram as exóticas invasoras do gênero *Dichogaster*, que ocorreram em todos os sistemas de uso do solo, com exceção de Cerradão, seguidas pela peregrina invasora *Pontoscolex corethrurus*, com ocorrências no Cerradão e Pastagem de seis anos, a espécie nativa *Andiorrhinus* (Amazonidrilus) spp., que ocorreu apenas no Cerradão, e a também nativa *Righiodrilus* spp. com presença apenas em Leucena (Tabela 3.6).

No ILPF e na Pastagem de três anos foram observadas as mesmas espécies (*Dichogaster saliens* e *Dichogaster* spp.1). Leucena e Cerradão também apresentaram riqueza de duas espécies, mas com composições diferentes (*Dichogaster* spp.1 e *Righiodrilus* spp., e *Andiorrhinus* (Amazonidrilus) spp. e *Pontoscolex corethrurus*, respectivamente) e a Pastagem de seis anos apresentou a maior riqueza, com a ocorrência de três espécies (*Dichogaster* spp.1, *Dichogaster* spp.2 e *Pontoscolex corethrurus*), seguindo a ordem de riqueza Past6 > Cer = Leu = ILPF = Past3.

Estudo de populações de minhocas no Sul do Brasil reporta grande quantidade de espécies exóticas ou invasoras, principalmente dos gêneros *Dichogaster* e *Pontoscolex*, embora espécies nativas, incluindo as do gênero *Andiorrhinus*, também sejam encontradas, mas em baixas densidades (Brown et al., 2008).

Trabalho realizado em seis bacias hidrográficas do Paraná por Bartz et al. (2013) demonstrou riqueza semelhante à encontrada nesse estudo, relativo aos gêneros *Dichogaster* e *Pontoscolex*, com valores de densidade próximos aos de Cerradão para as áreas de floresta nativa, variando de 5 a 285 ind m<sup>-2</sup>. Entretanto, em todos os sistemas estudados, os autores encontraram um total de 11 espécies, pertencentes à quatro famílias. A riqueza de espécies

nas áreas avaliadas variou de um a seis, com a maioria das áreas apresentando de duas a três espécies, o que vai de acordo com os resultados de riqueza encontrados no presente trabalho.

Em região de transição entre os biomas Pantanal, Cerrado e Floresta Amazônica, no Mato Grosso, foram encontradas oito espécies de minhocas distribuídas em 5 gêneros e, ao todo, são conhecidas 32 espécies/subespécies de minhocas para o Estado, sendo 22 nativas e 10 exóticas (Bartz et al., 2009).

De maneira geral, a riqueza de espécies de minhocas em áreas agriculturáveis é menor quando comparada ao de áreas nativas, mas o efeito negativo sobre as espécies pode ser mitigado por práticas de manejo mais favoráveis a esse grupo de indivíduos, levando em consideração, especialmente, a manutenção da umidade do solo, o uso de gramíneas perenes ou o uso de fragmentos florestais, quando possível, como vegetação tampão, demonstrado por modelo linear generalizado misto por Kernecker et al. (2015).

Ao avaliarem diferentes sistemas de uso do solo (floresta nativa, plantio de eucalipto, pastagem permanente, sistema integração-lavoura-pecuária e sistema de plantio direto de grãos) em duas cidades no estado de Santa Catarina, Bartz et al. (2014), encontraram 2.227 ind m<sup>-2</sup> distribuídos em 24 espécies de seis famílias. As maiores riquezas foram observadas nos sistemas com maior impacto antropogênico, principalmente devido à presença de espécies exóticas, mas com ocorrência de espécies nativas; os valores de densidade também foram maiores nas áreas com maior impacto antropogênico, concordando com os resultados obtidos no presente estudo. Entretanto, diferentemente desse estudo, espécies nativas foram predominantes nas áreas de pastagem e de floresta.

De acordo com Brown et al. 2006, a presença de espécies exóticas em áreas nativas é esperada, considerando que os ecossistemas brasileiros são frequentemente colonizados por minhocas de ampla distribuição. Dessa forma, embora seja esperada maior riqueza de espécies em sistemas florestais, no presente estudo observou-se maior riqueza em um ambiente com maior impacto antropogênico (Past6), assim como relatado no estudo de Bartz et al. (2014).

Levando-se em consideração a área total de 19,4 ha do Cer (Ver Tabela 1.1, Capítulo 1, página 18), também pode-se considerar a quantidade de pontos amostrais como um fator limitante na reduzida avaliabilidade de espécies, além de ser um fragmento de Cerrado adjacente às áreas avaliadas, com exceção da Pastagem de seis anos, e a áreas de cultivos de grãos, recebendo influência das mesmas.

Os fragmentos de florestas, permanentemente vegetados, compreendem habitats que são propícios à sobrevivência de diferentes espécies de minhocas, mais do que em campos

agrícolas (Lee, 1985), mesmo que circundantes e, assim, aumentam a b-diversidade de comunidades não nativas de minhocas através de paisagens agrícolas (Kernecker et al., 2015).

Maiores densidade e riqueza de espécies exóticas em áreas de vegetação nativa (fragmentos florestais) foram encontradas por Kernecker et al., (2015), em detrimento de áreas agrícolas, o que pode refletir maior complexidade do ecossistema e uma maior biodiversidade deste, o que não pode ser observado no presente estudo. Os autores sugerem que o papel de espécies exóticas como bioindicador de biodiversidade em ecótonos (áreas de transição ambiental) pode ser mais importante que seu potencial em comprometer serviços ecossistêmicos em áreas nativas e sem manejo.

### 3.3.2. CATEGORIAS ECOLÓGICAS DE MINHOCAS

De acordo com Brown et al. (2006), a maioria das espécies exóticas e peregrinas nativas são encontradas em agroecossistemas ou em áreas com distúrbios resultantes da ação antrópica, sendo a presença de espécies invasoras componente passível de alterações biológicas e de propriedades do ecossistema, incluindo sua função. Entretanto, apenas a presença de espécies invasoras não é fator limitante para ocorrer alterações significativas nos ecossistemas.

De acordo com Freitas; Dionísio (2014), características comportamentais são fundamentais para compreender a ocorrência de minhocas nos solos e a estratificação das populações. As categorias ecológicas de minhocas não diferiram entre os sistemas de uso do solo, onde a totalidade dos gêneros encontrados, assim como são consideradas suas espécies, são endogeicas (Righi, 1990; Brown; Frago, 2007; Feijoo; Gil, 2010).

Entretanto, *Andhiorrinus* spp., *Pontoscolex corethrurus* e *Dichogaster* spp. podem ser consideradas como epi-endogeicas, por viverem próximo à superfície, no Horizonte A do solo, ainda que possuam capacidade de cavar a grandes profundidades sob condições adversas de umidade (Righi, 1990; Bartz et al, 2013), e estão expostas à predação contínua em todos os estágios de desenvolvimento (Brown; Frago, 2007). Espécies epigeicas são consideradas como pioneiras na decomposição da serapilheira por sua ação fragmentadora do material vegetal (Amossés et al., 2016).

Em áreas de Mata Atlântica do Paraná, espécies nativas endogéicas e epigéicas são dominantes, principalmente de gêneros com capacidades adaptativas a distúrbios do solo ou a baixas quantidades de serapilheira, fator necessário à sobrevivência de espécies epigéicas (Bartz et al., 2013).

Embora uma diversificação ecológica seja desejável, assim como no presente estudo a maioria das fazendas de plantio direto do Paraná só possuem espécies de hábito endogéico (Bartz et al., 2013). Espécies anécicas não ocorrem na Amazônia brasileira (Righi et al., 1990) e são extremamente raras no país, sendo conhecidas poucas espécies nativas que poderiam ser cavadoras verticais e incorporar resíduos orgânicos da superfície ao solo (Bartz et al., 2013), o que reforça a importância da biodiversidade de outros organismos da fauna edáfica nas funções ecossistêmicas.

Após coletas realizadas na França em sistema convencional de agricultura com rotação anual de grãos (milho, trigo e cevada, de 2011 a 2013, respectivamente), sistema de rotação de seis anos – três anos consecutivos de pastagem cortada anualmente (2008 a 2010) seguidos por três anos de rotação de grãos (milho, trigo e cevada, respectivamente) – e uma pastagem permanente de oito anos, Andriuzzi et al. (2017) encontraram evidências de que a intensidade do uso da terra é capaz de afetar negativamente a proporção de grupos ecológicos. Dessa forma, o manejo também afetou os parâmetros avaliados de densidade de minhocas e biomassa, alterando a distribuição corporal dos indivíduos, sendo encontradas minhocas menores em manejos mais intensivos. Na área de pastagem foram encontradas densidades maiores durante os dois anos de avaliação, corroborando os resultados encontrados neste estudo.

No trabalho de Kernecker et al. (2015), das 11 espécies identificadas, seis espécies são endogéicas, sendo também o grupo com maior densidade. No estudo realizado por Wolfrum et al., (2018), a maioria das minhocas também foram endogéicas, representando 80% dos indivíduos, com 11% sendo epigéicas e 8% anécicas.

Por fim, no estudo de Amossé et al. (2016), na Suíça, as categorias ecológicas das espécies de minhocas encontradas foram diferentes entre os sistemas, com espécies endogéicas e anécicas ocorrendo em todos eles, em altas densidades e baixas densidades, respectivamente, e espécies epigéicas ocorreram em oito áreas, com maiores densidades nos sistemas mais antigos, e tais variações nas categorias ecológicas indicam diferenças em termos de funcionamento do solo.

### 3.3.3. INFLUÊNCIAS DOS SISTEMAS DE USO DO SOLO EM OLIGOCHAETA

O diagrama resultante da Análise de Cluster para enquitreídeos, considerando a densidade de indivíduos em cada sistema de uso do solo, pode ser visualizado na Figura 3.1, onde os números no eixo vertical representam a distância Euclidiana entre os sistemas.

Pode-se verificar a existência de dois grupos principais, onde o Cerradão se destaca dos demais sistemas por apresentar maior distância Euclidiana, seguindo a ordem de Pastagem de três anos, Pastagem de três anos, ILPF, Eucalipto e Leucena, sendo os dois últimos sistemas parte do grupamento mais externo (Figura 3.1).

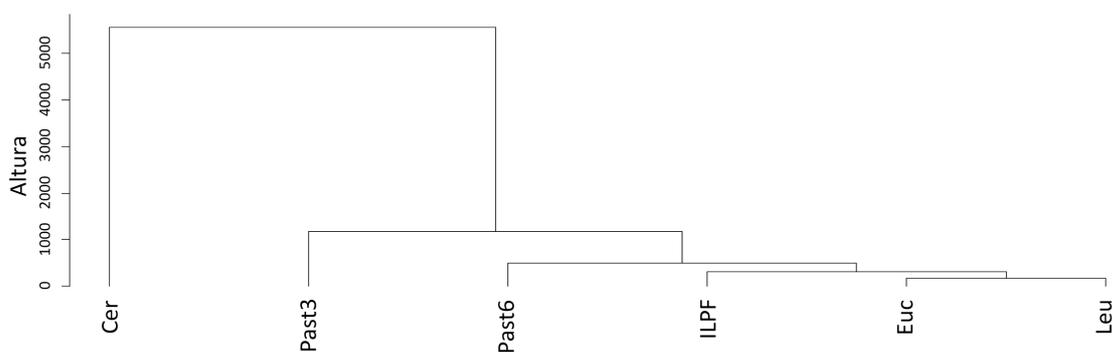


Figura 3.1. Diagrama de Cluster com base na distância euclidiana da densidade de enquitreídeos ( $\text{ind m}^{-2}$ ) em área natural de Cerradão (Cer), áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos (Past3), pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade (Past6), sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* (Leu) e plantio de *Eucalyptus* sp. (Euc).

Por meio da análise do dendrograma de Cluster para minhocas, também se verifica a separação em dois grupos principais, mas com distâncias Euclidianas menos pronunciadas entre eles, em comparação às distâncias Euclidianas observadas para enquitreídeos. Os sistemas de uso do solo ILPF e Pastagem de três anos fazem parte do primeiro grupo, seguidos por Pastagem de seis anos, Leucena e no grupo mais externo observa-se a presença de Cerradão e Eucalipto (Figura 3.2).

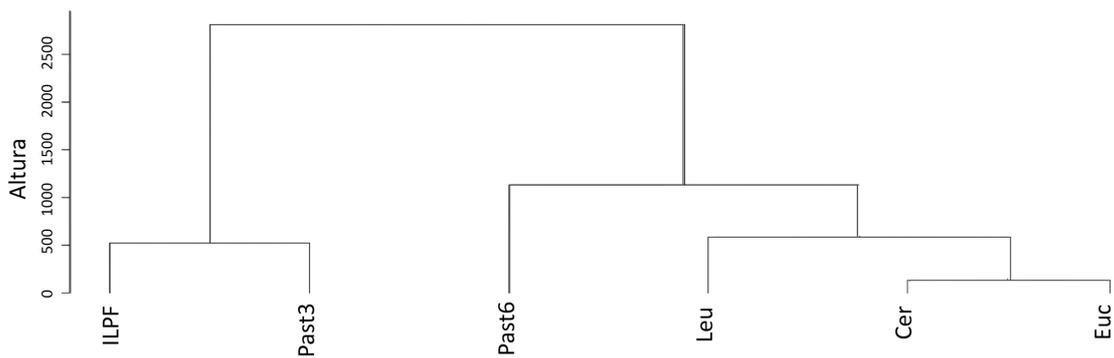


Figura 3.2. Diagrama de Cluster com base na distância euclidiana da densidade de minhocas ( $\text{ind m}^{-2}$ ) em área natural de Cerradão (Cer), áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos (Past3), pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade (Past6), sistema silvopastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* (Leu) e plantio de *Eucalyptus* sp. (Euc).

Em estudo realizado em região de Mata Atlântica, no Paraná, em áreas de pastagem, em florestas primárias e em florestas secundárias em diferentes graus de regeneração, Römcke et al. (2015) encontraram maiores densidades de enquitreídeos nas florestas primárias, destacando-se das demais e concordando com os resultados obtidos neste estudo.

Pelosi; Römcke (2016), relatam que, embora as comunidades de enquitreídeos respondam às práticas agrícolas, direta ou indiretamente por meio de interações bióticas e abióticas, avaliações utilizando apenas a densidade desses organismos como base para identificação de sistemas de uso da terra têm demonstrado resultados inconclusivos sobre o aumento da abundância dos mesmos com o uso de práticas conservacionistas e também sobre a extensão de suas atividades ecossistêmicas nos solos.

Tais observações são devidas ao fato de que a abundância desses organismos depende da sazonalidade e profundidade de coleta, considerando que esses organismos podem se locomover no solo, devido à idade da área manejada - já que áreas convertidas tendem a estabilizar a densidade de enquitreídeos - (Jänsch et al., 2013), devido à divergência de objetivos nos estudos realizados, dificultando a comparação, e à complexidade de avaliar os diversos fatores que podem influenciar a viabilidade de enquitreídeos (Pelosi; Römcke, 2016).

Os dendrogramas de Cluster obtidos por Bartz et al. (2014) ao avaliarem a densidade de minhocas em diferentes sistemas de uso do solo em duas áreas do Paraná separaram as áreas de pastagem e de integração-lavoura-pecuária dos demais sistemas, com as áreas de vegetação natural se apresentando mais externamente ao dendrograma, corroborando os

resultados obtidos neste estudo e demonstrando uma tendência de maiores densidades de minhocas em áreas de pastagem.

As análises do modelo de regressão múltipla de Poisson demonstraram que para enquitreídeos os atributos químicos não influenciaram de maneira significativa a presença de nenhum dos gêneros encontrados (Anexo I, Tabelas 1 a 6).

De acordo com Pelosi; Römbke (2016), embora a diversidade e a abundância de enquitreídeos sejam dependentes do pH e da matéria orgânica do solo, sendo este último parâmetro corroborado por Yin et al. (2015), tais relações não foram encontradas neste trabalho. Ainda, Schiavon et al. (2014) avaliando a densidade de enquitreídeos em produção de hortaliças em sistema de agricultura familiar orgânica no Rio Grande do Sul encontraram esses organismos fortemente correlacionados ao manganês.

Também não foram observadas influências significativas para os atributos físicos e microbiológicos para enquitreídeos (Anexo I, Tabelas 7 a 14), com exceção dos gêneros *Achaeta* e *Hemienchytraeus*, nos quais a regressão mostrou-se significativa (P=0,001) para todos os parâmetros avaliados (Tabelas 3.7, 3.8, 3.9 e 3.10, respectivamente).

Tabela 3.7. Determinação da influência dos atributos físicos do solo (PT: Porosidade total; Micro: Microporosidade. Macro: Macroporosidade. K<sub>S</sub>: Condutividade hidráulica saturada) sobre a abundância do gênero *Achaeta* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável       | Estimativa            | Erro padrão          | P valor                | Probabilidade (%)   |
|----------------|-----------------------|----------------------|------------------------|---------------------|
| Intercepto     | -1,04e <sup>+02</sup> | 4,28                 | <2e <sup>-16</sup> *** |                     |
| Densidade      | 7,68                  | 3,28e <sup>-01</sup> | <2e <sup>-16</sup> *** | 2,17e <sup>+5</sup> |
| PT             | -4,81e <sup>+03</sup> | 2,01e <sup>+02</sup> | <2e <sup>-16</sup> *** | 100                 |
| Micro          | 4,96e <sup>+03</sup>  | 2,07e <sup>+02</sup> | <2e <sup>-16</sup> *** | Inf                 |
| Macro          | 4,99e <sup>+03</sup>  | 2,07e <sup>+02</sup> | <2e <sup>-16</sup> *** | Inf                 |
| K <sub>S</sub> | 9,27e <sup>-03</sup>  | 6.15e <sup>-04</sup> | <2e <sup>-16</sup> *** | 0,93                |

Nível de significância \*\*\*0,001

Os coeficientes estimados na regressão múltipla de Poisson indicam uma relação direta com o sinal da correlação e, conseqüentemente, com a probabilidade calculada e, quando é significativo, a variável explicativa considerada influencia os resultados da

variável resposta. Assim, coeficientes positivos tendem a aumentos na ocorrência do gênero e coeficientes negativos, à sua diminuição.

Tabela 3.8. Determinação da influência dos atributos físicos do solo (PT: Porosidade total; Micro: Microporosidade. Macro: Macroporosidade.  $K_S$ : Condutividade hidráulica saturada) sobre a abundância do gênero *Hemienchytraeus* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp

| Variável   | Estimativa            | Erro padrão          | P valor                | Probabilidade (%)    |
|------------|-----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| Intercepto | 1,48e <sup>+02</sup>  | 6,08                 | <2e <sup>-16</sup> *** |                      |
| Densidade  | 8,93                  | 6,75e <sup>-01</sup> | <2e <sup>-16</sup> *** | 7,58e <sup>+05</sup> |
| PT         | -1,55e <sup>+03</sup> | 7,09e <sup>+01</sup> | <2e <sup>-16</sup> *** | 100                  |
| Micro      | 1,30e <sup>+03</sup>  | 6,83e <sup>+01</sup> | <2e <sup>-16</sup> *** | Inf                  |
| Macro      | 1,01e <sup>+03</sup>  | 6,48e <sup>+01</sup> | <2e <sup>-16</sup> *** | Inf                  |
| $K_S$      | 4,51e <sup>-03</sup>  | 5,21e <sup>-04</sup> | <2e <sup>-16</sup> *** | 0,45                 |

Nível de significância \*\*\*0,001

Embora os coeficientes estimados para os atributos físicos de densidade e microporosidade tenham sido positivos, e a probabilidade de aumento desses gêneros seja muito superior a 100% para densidade e tenda ao infinito para microporosidade (Tabelas 3.8 e 3.9), sabe-se que, de maneira generalizada, o aumento da densidade e, conseqüentemente, da microporosidade do solo influenciam negativamente a abundância de enquitreídeos (Langmaack et al., 1999). Dessa forma, pode-se inferir que os gêneros cosmopolitas *Achaeta* e *Hemienchytraeus* são mais resistentes ao aumento desses atributos que os demais gêneros de enquitreídeos encontrados, o que pode ser confirmado pela presença de *Achaeta* em maior abundância no sistema de maior densidade do solo (Pastagem de seis anos), assim como pela presença de *Hemienchytraeus* na Pastagem de seis anos.

Em revisão realizada por Pelosi; Römbke (2016), há indícios de que enquitreídeos, devido ao seu pequeno tamanho e suas altas taxas de reprodução, não sejam tão afetados quando há redução dos espaços porosos do solo na camada superficial, mas esta já se torna letal a partir de 20 cm de profundidade, indicando que o manejo é capaz de modificar as populações de enquitreídeos. Os autores também afirmam que o estudo dos indivíduos e sua distribuição no perfil do solo é mais relevante que apenas avaliar a abundância da comunidade.

Tabela 3.9. Determinação da influência dos atributos microbiológicos do solo (Fosfatase ácida, CBM: Carbono microbiano; NBM: Nitrogênio microbiano) sobre a abundância do gênero *Achaeta* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável   | Estimativa            | Erro padrão          | P valor                | Probabilidade (%) |
|------------|-----------------------|----------------------|------------------------|-------------------|
| Intercepto | -1,04e <sup>+02</sup> | 4,28                 | <2e <sup>-16</sup> *** |                   |
| Fosfatase  | 1,21e <sup>-02</sup>  | 4,06e <sup>-04</sup> | <2e <sup>-16</sup> *** | 1,22              |
| CBM        | -2,33e <sup>-02</sup> | 8,93e <sup>-04</sup> | <2e <sup>-16</sup> *** | 2,30              |
| NBM        | 1,68e <sup>-01</sup>  | 9,19e <sup>-03</sup> | <2e <sup>-16</sup> *** | 18,27             |

Nível de significância \*\*\*0,001

Todos os atributos microbiológicos influenciaram a presença de ambos os gêneros, ainda que de forma não muito expressiva quando se considera a fosfatase ácida. *Achaeta* mostrou-se negativamente influenciado pelo C microbiano, o que significa que há uma probabilidade de diminuição da abundância desse gênero em 2,30% caso este atributo também seja negativamente alterado. Já *Hemienchytraeus* mostrou-se negativamente influenciado pelo N microbiano, com uma probabilidade de redução de 24,82%, sendo o atributo que mais influenciaria também a densidade de *Achaeta*, com provável aumento de 18,27% (Tabelas 3.9 e 3.10).

Tabela 3.10. Determinação da influência dos atributos microbiológicos do solo (Fosfatase ácida, CBM: Carbono microbiano; NBM: Nitrogênio microbiano) sobre a abundância do gênero *Hemienchytraeus* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável   | Estimativa            | Erro padrão          | P valor                | Probabilidade (%) |
|------------|-----------------------|----------------------|------------------------|-------------------|
| Intercepto | 1,48e <sup>+02</sup>  | 6,08                 | <2e <sup>-16</sup> *** |                   |
| Fosfatase  | 4,75e <sup>-03</sup>  | 2,84e <sup>-04</sup> | <2e <sup>-16</sup> *** | 0,48              |
| CBM        | 5,17e <sup>-02</sup>  | 1,89e <sup>-03</sup> | <2e <sup>-16</sup> *** | 5,31              |
| NBM        | -2,85e <sup>-01</sup> | 9,91e <sup>-03</sup> | <2e <sup>-16</sup> *** | 24,82             |

Nível de significância \*\*\*0,001

A importância da microbiologia do solo para enquitreídeos está relacionada, principalmente, à ingestão desses componentes como alimento e como auxílio à decomposição de materiais orgânicos, inclusive recalcitrantes (Briones; Inenson, 2002).

Para minhocas, as análises do modelo de Poisson demonstraram influências significativas dos atributos químicos (com exceção de  $Mg^{2+}$  e  $Ca^{2+}$  para *Dichogaster* e *Pontoscolex*, respectivamente), físicos (com exceção da condutividade hidráulica para *Pontoscolex*) e microbiológicos apenas para as espécies de maior distribuição nos SUS avaliados (Anexo I, Tabelas 15 a 20).

Os coeficientes estimados para os atributos químicos de *Dichogaster* e *Pontoscolex* foram divergentes para  $K^+$ , apresentando influência negativa para o primeiro gênero e positiva para o segundo, e o contrário foi observado para N e a relação C:N (Tabelas 3.11 e 3.12, respectivamente).

Tabela 3.11. Determinação da influência dos atributos químicos do solo sobre a abundância do gênero *Dichogaster* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável   | Estimativa | Erro padrão   | P valor           | Probabilidade (%) |
|------------|------------|---------------|-------------------|-------------------|
| Intercepto | 13,92      | 0,83          | $< 2e^{-16}$ ***  |                   |
| $Al^{3+}$  | -1,37      | 0,17          | $4,32e^{-15}$ *** | 74,61             |
| $Ca^{2+}$  | -0,55      | 0,05          | $< 2e^{-16}$ ***  | 42,29             |
| $K^+$      | -0,00      | $3,83e^{-04}$ | $< 2e^{-16}$ ***  | 0,40              |
| $Mg^{2+}$  | -0,11      | 0,1           | 0,24              | 10,78             |
| pH         | -1,88      | 0,13          | $< 2e^{-16}$ ***  | 84,81             |
| P          | -0,03      | $7,37e^{-03}$ | $5,33e^{-06}$ *** | 3,30              |
| C          | 0,29       | $9,47e^{-03}$ | $< 2e^{-16}$ ***  | 33,52             |
| N          | 0,09       | 0,01          | $1,24e^{-08}$ *** | 9,18              |
| C:N        | 0,16       | $9,49e^{-03}$ | $< 2e^{-16}$ ***  | 17,00             |
| MOS        | 0,17       | 0,06          | $4,17e^{-03}$ **  | 19,14             |
| CTC        | -0,01      | 0,18          | 0,96              | 0,93              |

Níveis de significância \*\*0,01 \*\*\*0,001

Ainda por meio da análise dos coeficientes estimados, considerando-se ambos os gêneros, observou-se influência negativa dos atributos que conferem acidez ao solo. Assim,

a diminuição destes, ou seja, a relação direta entre a diminuição da acidez trocável e os gêneros e o aumento da acidez para o pH, ocasionariam a diminuição de *Dichogaster* em 74,61% e em 84,81%, e para *Pontoscolex* em 95,34% e 99,79%, para  $Al^{3+}$  e pH, respectivamente. Tais relações indicam que esses gêneros são resistentes aos teores de acidez apresentados nos SUS avaliados, confirmando suas tendências à resistência aos distúrbios do solo (Bartz et al., 2014).

O gênero *Pontoscolex*, ainda que não tenha sido influenciado pelos teores de  $Ca^{2+}$ , demonstra maior dependência por P e por bases ( $K^+$  e  $Mg^{2+}$ ) quando comparadas as probabilidades em relação a *Dichogaster*. Brown; Fragoso (2007) e Bartz et al. (2013), também verificaram relação positiva entre os teores de P e a densidade de minhocas, principalmente *P. corethrurus* pelos primeiros autores, assim como com o aumento da riqueza, entretanto, esse último não foi observado de forma significativa para este trabalho.

Tabela 3.12. Determinação da influência dos atributos químicos do solo sobre a abundância do gênero *Pontoscolex* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável   | Estimativa | Erro padrão | P valor           | Probabilidade (%) |
|------------|------------|-------------|-------------------|-------------------|
| Intercepto | 47,92      | 5,11        | $< 2e^{-16}$ ***  |                   |
| $Al^{3+}$  | -3,07      | 0,51        | $2,35e^{-09}$ *** | 95,34             |
| $Ca^{2+}$  | -0,52      | 0,68        | 0,45              | 40,36             |
| $K^+$      | 0,06       | 0,01        | $< 2e^{-16}$ ***  | 6,70              |
| $Mg^{2+}$  | -8,21      | 1,09        | $6,75e^{-14}$ *** | 99,97             |
| pH         | -6,19      | 1,03        | $1,60e^{-09}$ *** | 99,79             |
| P          | -1,11      | 0,09        | $< 2e^{-16}$ ***  | 66,96             |
| C          | 0,55       | 0,04        | $< 2e^{-16}$ ***  | 73,46             |
| N          | -0,90      | 0,17        | $1,81e^{-07}$ *** | 59,21             |
| C:N        | -0,30      | 0,07        | $6,19e^{-05}$ *** | 25,69             |
| MOS        | 3,54       | 0,28        | $< 2e^{-16}$ ***  | 25,69             |
| CTC        | 1,09       | 0,40        | $6,78e^{-03}$ **  | $1,96e^{+02}$     |

Níveis de significância \*\*0,01 \*\*\*0,001

Os dois gêneros se apresentaram influenciados pelos teores de matéria orgânica do solo, concordando com os resultados observados por Brown; Fragoso (2007), Bartz et al.

(2013) e Ortiz-Gamino et al. (2016) e confirmando a dependência dos mesmos a esse componente, determinado pelo seu comportamento epi-endogeoico.

Considerando os coeficientes físicos para *Dichogaster* e *Pontoscolex*, a densidade do solo apresentou influência análoga à de enquitreídeos, também indicando a resistência desses gêneros a maiores densidades do solo (Tabelas 3.13 e 3.14). Amossé et al. (2016) observaram correlações positivas entre a densidade do solo e a abundância de minhocas.

Tabela 3.13. Determinação da influência dos atributos físicos do solo (PT: Porosidade total; Micro: Microporosidade. Macro: Macroporosidade.  $K_S$ : Condutividade hidráulica saturada) sobre a abundância do gênero *Dichogaster* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável   | Estimativa            | Erro padrão           | P valor                  | Probabilidade (%)    |
|------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------|
| Intercepto | 1,56e <sup>+01</sup>  | 6,922e <sup>-01</sup> | < 2e <sup>-16</sup> ***  |                      |
| Densidade  | 1,62                  | 2,744e <sup>-01</sup> | 3,39e <sup>-09</sup> *** | 4,06e <sup>+02</sup> |
| PT         | 7,39e <sup>+02</sup>  | 2,814e <sup>+01</sup> | < 2e <sup>-16</sup> ***  | Inf                  |
| Micro      | -7,58e <sup>+02</sup> | 2,801e <sup>+01</sup> | < 2e <sup>-16</sup> ***  | 100                  |
| Macro      | -7,61e <sup>+02</sup> | 2,813e <sup>+01</sup> | < 2e <sup>-16</sup> ***  | 100                  |
| $K_S$      | 5,30e <sup>-03</sup>  | 2,007e <sup>-04</sup> | < 2e <sup>-16</sup> ***  | 0,53                 |

Nível de significância \*\*\*0,001

A porosidade total do solo para *Dichogaster*, entretanto, apresentou comportamento conflitante com a densidade, já que o aumento da porosidade total ocasionaria probabilidade de aumento infinita na ocorrência desse gênero. Esse comportamento sugere a sobrevivência de espécies de *Dichogaster* em solos mais compactados, mas que estas seriam muito mais abundantes em solos menos compactados, ou seja, com maior porosidade total, e reforçando seu caráter invasivo considerando a manutenção das demais variáveis.

O coeficiente estimado para a condutividade hidráulica saturada não foi significativo para *Pontoscolex* e ainda que tenha sido significativo para *Dichogaster*, sua influência sobre o aumento desse gênero foi de apenas 0,53%. Como esse parâmetro está relacionado à umidade do solo, tais resultados concordam com os obtidos por Kernecker et al. (2015), e Amossé et al. (2016), que encontraram correlações positivas entre a umidade e a abundância de minhocas.

Tabela 3.14. Determinação da influência dos atributos físicos do solo (PT: Porosidade total; Micro: Microporosidade. Macro: Macroporosidade.  $K_s$ : Condutividade hidráulica saturada) sobre a abundância do gênero *Pontoscolex* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável   | Estimativa            | Erro padrão          | P valor                 | Probabilidade (%)    |
|------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
| Intercepto | 3,09                  | 1,95                 | 0,11                    |                      |
| Densidade  | 1,02e <sup>+01</sup>  | 5,95e <sup>-01</sup> | < 2e <sup>-16</sup> *** | 2,81e <sup>+06</sup> |
| PT         | -1,31e <sup>+03</sup> | 9,78e <sup>+01</sup> | < 2e <sup>-16</sup> *** | 100                  |
| Micro      | 1,30e <sup>+03</sup>  | 9,69e <sup>+01</sup> | < 2e <sup>-16</sup> *** | Inf                  |
| Macro      | 1,29e <sup>+03</sup>  | 9,65e <sup>+01</sup> | < 2e <sup>-16</sup> *** | Inf                  |
| $K_s$      | -5,42e <sup>-04</sup> | 6,41e <sup>-04</sup> | 0,40                    | 0,05                 |

Nível de significância \*\*\*0,001

Entretanto, tanto para minhocas como para enquitreídeos, a condutividade hidráulica saturada, ainda que significativa, apresentou baixa influência na probabilidade de ocorrência dos gêneros, o que pode indicar que outros fatores além da umidade sejam muito mais importantes para a presença desses indivíduos nas condições avaliadas.

Assim como para enquitreídeos, dentre os componentes microbiológicos avaliados o que apresenta maiores probabilidades de alteração dos gêneros de minhocas é o N microbiano, apresentando uma correlação positiva para *Dichogaster* e negativa para *Pontoscolex*, mas com possibilidades de alterações bastante semelhantes (Tabelas 3.15 e 3.16, respectivamente).

Tabela 3.15. Determinação da influência dos atributos microbiológicos do solo (Fosfatase ácida, CBM: Carbono microbiano; NBM: Nitrogênio microbiano) sobre a abundância do gênero *Dichogaster* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variáveis  | Estimativa            | Erro padrão          | P valor                 | Probabilidade (%) |
|------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|-------------------|
| Intercepto | 1,60e <sup>+01</sup>  | 6,92e <sup>-01</sup> | < 2e <sup>-16</sup> *** |                   |
| Fosfatase  | -1,98e <sup>-03</sup> | 9,84e <sup>-05</sup> | < 2e <sup>-16</sup> *** | 0,20              |
| CBM        | -3,26e <sup>-03</sup> | 2,31e <sup>-04</sup> | < 2e <sup>-16</sup> *** | 0,32              |
| NBM        | 2,74e <sup>-02</sup>  | 2,74e <sup>-02</sup> | < 2e <sup>-16</sup> *** | 2,78              |

Nível de significância \*\*\*0,001

Contrária às observações realizadas por Benito et al. (2005), ainda que tenham solos bastante drenados, as condições de umidade dos solos das áreas de Cerrado à época de avaliação e os teores de nutrientes presentes nos sistemas não foram limitantes à densidade e à riqueza de espécies de minhocas, com exceção do Eucalipto.

Tabela 3.16. Determinação da influência dos atributos microbiológicos do solo (Fosfatase ácida, CBM: Carbono microbiano; NBM: Nitrogênio microbiano) sobre a abundância do gênero *Pontoscolex* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável   | Estimativa            | Erro padrão          | P valor                  | Probabilidade (%) |
|------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|-------------------|
| Intercepto | 3,09                  | 1,95                 | 0,11                     |                   |
| Fosfatase  | 5,01e <sup>-04</sup>  | 2,22e <sup>-04</sup> | 0,02 *                   | 0,05              |
| CBM        | 1,159e <sup>-03</sup> | 6,00e <sup>-04</sup> | 0,05 .                   | 0,11              |
| NBM        | -2,39e <sup>-02</sup> | 5,79e <sup>-03</sup> | 3,76e <sup>-05</sup> *** | 2,60              |

Níveis de significância .0,1 \*0,05 \*\*\*0,001

Minhocas se alimentam de materiais orgânicos em diferentes estágios de decomposição, realizado preliminarmente por microrganismos (Righi, 1990). Brown; Fragoso (2007) relatam que espécies endógenas desenvolvem relações mutualísticas com microrganismos para sua digestão e espécies pequenas frequentemente abundantes dessa categoria ecológica, como *Dichogaster* spp., tendem a se concentrar nas camadas superficiais do solo, habitando uma região de intensa atividade biológica e crescimento de raízes.

De acordo com Taheri et al. (2018), a densidade de minhocas da espécie *Pontoscolex corethrurus* foi muito menor em uma área de *Eucalyptus saligna* que em um plantio de albizia (*Albizia falcataria*), devido à menor qualidade da serapilheira proveniente do eucalipto, sugerindo que a qualidade do material vegetal produzido em uma área pode afetar diretamente as populações de minhocas, o que pode ter sido intensificado, no presente estudo, pela baixa proporção de raízes finas observadas nas amostras de solo no Eucalipto quando comparado aos demais sistemas.

Quando se pondera a grande quantidade de minhocas presente nos sistemas com *U. brizantha* e os valores do Cerradão, a época de coleta (chuvosa), o tipo de solo, a proximidade dos sistemas avaliados e o tipo de manejo empregado, a ausência de minhocas

no Eucalipto pode ser devida a um efeito alelopático das árvores sobre esses organismos, como sugerido por Righi (1990), ao afirmar que as relações atrativas entre minhocas e algumas espécies de plantas dependem da composição química da serapilheira ou de exsudados vegetais. A ausência de minhocas em Euc também pode estar relacionada aos menores valores apresentados nas variáveis microbiológicas nesse SUS, já que foram apresentadas correlações positivas com esses parâmetros.

A conclusão de impactos positivos ou negativos na abundância e diversidade de enquitreídeos não é sempre óbvia devido à interação de vários parâmetros atuando ao mesmo tempo, especialmente quando se trabalha em campo, como disponibilidade e distribuição de matéria orgânica, manejo do solo, espécies vegetais e animais presentes, entre outros (Pelosi; Römcke, 2016).

E, dessa forma, a falta de significância entre as variáveis ambientais e os gêneros, tanto de minhocas como de enquitreídeos, não significa exatamente que esses organismos não sejam afetados pelos atributos avaliados, tanto em densidade como em riqueza, mas além dos fatores já citados, a baixa ocorrência de alguns gêneros pode ter dificultado a comparação entre elas.

### 4.3. CONCLUSÕES

- As maiores densidades de enquitreídeos ocorreram em ambiente natural de Cerradão e as de minhocas foram observadas para área de Integração-Lavoura—Pecuária-Floresta (ILPF), indicando condições favoráveis à ocorrência desses organismos.
- A riqueza de gêneros encontradas para enquitreídeos em áreas de Cerrado é comparável às encontradas em demais estudos no Brasil, entretanto a riqueza encontrada para minhocas é considerada baixa. As maiores riquezas de enquitreídeos também foram observadas em ambiente natural de Cerradão, com menor impacto humano, e a de minhocas foi observada para área de Pastagem com seis anos, com maior ocorrência de espécies exóticas.
- Para enquitreídeos, houve dominância do gênero nativo *Guaranidrillus*, com ocorrência de espécies cosmopolitas e peregrinas, especialmente nas áreas de pastagem. Para minhocas, houve dominância de espécies gênero exótico *Dichogaster* spp., mas há ocorrências de espécies nativas e peregrinas.
- Os gêneros de enquitreídeos encontrados não apresentaram um padrão claro de resposta aos atributos químicos, físicos e microbiológicos, com exceção de *Achaeta* e *Hemienchytraeus* para as duas últimas variáveis, podendo ser considerados como indicadores da qualidade biológica ou de perturbação de um solo, já que se apresentaram sensíveis a tais parâmetros, e podem ser modificados de acordo com o uso do solo, em termos de abundância e de composição de gêneros.
- As espécies dominantes *Dichogaster* spp. e *Pontoscolex corethrurus* possuem capacidade de adaptação às diferentes condições ambientais presentes nos sistemas de uso do solo avaliados e têm sua presença significativamente influenciada por atributos físicos, químicos e microbiológicos e também podem ser utilizadas como indicadores da qualidade do solo e das práticas de manejo.
- As espécies de minhocas encontradas nos sistemas de uso do solo são ecologicamente caracterizadas como endogêicas, indicando que funções ecológicas como incorporação da matéria orgânica do solo em profundidade são realizadas por outros componentes da fauna edáfica, ressaltando a importância da diversidade desse componente para manutenção qualidade do solo.

## REFERÊNCIAS

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. I. 1993. **Tropical Soil Biology and Fertility, a handbook of methods**. 2ed. Wallingford: CAB, 1993, 221p.

AMOSSÉ, J.; DÓZSA-FARKAS, K.; BOROS, G.; ROCHAT, G.; SANDOZ, G.; FOURNIER, B.; MITCHELL, E. A. D.; LE BAYON, R. C. Patterns of earthworm, enchytraeid and nematode diversity and community structure in urban soils of different ages. **European Journal of Soil Biology**, v.73, p.46-58, 2016.

ANDRIUZZI, W. S.; PULLEMAN, M. M.; CLUZEAU, D.; PÉRÈS, G. Comparison of two widely used sampling methods in assessing earthworm community responses to agricultural intensification. **Applied Soil Ecology**, v.119, p.145-151, 2017.

AQUINO, A. M.; SILVA, R. F.; MERCANTE, F. M.; CORREIA, M. E. F. C.; GUIMARÃES, M. F.; LAVELLE, P. Invertebrate soil macrofauna under diferente ground cover plants in the no-till system in the Cerrado. **European Journal of Soil Biology**, n.44, p. 191-197, 2008.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.VII, 2011. P.119-170.

BARTZ, M. L. C.; PASINI, A.; BROWN, G. G. Earthworms from Mato Grosso, Brazil, and new records of species from the state. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.8, p.934-939, 2009.

BARTZ, M. L. C.; PASINI, A.; BROWN, G. G. Earthworm as soil quality indicators in Brazilian no-tillage systems. **Applied Soil Ecology**, v.69, p.39-48, 2013.

BARTZ, M. L. C.; BROWN, G. G.; ROSA, M. G.; KLAUBERG FILHO, O.; JAMES, S. W.; DECAËNS, T.; BARETTA, D. Earthworm richness in land-use systems in Santa Catarina, Brazil. **Applied Soil Ecology**, n. 83, p. 59-70, 2014.

BATISTA, I.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J. A.; ROUWS, J. R. C. Frações oxidáveis do carbono orgânico total e macrofauna edáfica em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.797-809, 2014.

BENITO, N.P.; BROSSARD, M.; PASINI, A.; GUIMARÃES, M. de F.; BOBILLIER, B. Transformations of soil macroinvertebrate populations after native vegetation conversion to pasture cultivation (Brazilian Cerrado). **European Journal of Soil Biology**, v.40, p.147-154, 2005.

BLAKEMORE, R. J. **Cosmopolitan earthworms – an eco-taxonomic guide to the peregrine species of the world**. Kippax: VermEcology, 2002. 426p. CD-ROM.

BOUCHÉ, M.B., 1977. Strategies lombriciennes. In: Lohm, U., Persson, E. (Eds.), **Soil Organisms as Components of Ecosystems**, Ecol. Bull, v.25. p.122–132 (Stockholm), 1977.

BRIONES, M.J.I., INESON, P. Use of <sup>14</sup>C carbon dating to determine feeding behaviour of enchytraeids. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, p. 881-884, 2002.

BROWN, G. G.; FRAGOSO, C. Ecología y taxonomía de las lombrices de tierra en Latinoamérica. In: BROWN, G G.; FRAGOSO, C. (Eds.). **Minhocas na América Latina: Biodiversidade e ecologia**. Londrina: Embrapa Soja, 2007, 545p., p.33-75.

BROWN, G. G.; JAMES, S. W. Ecologia, biodiversidade e biogeografia de minhocas no Brasil. In: BROWN, G G.; FRAGOSO, C. (Eds.). **Minhocas na América Latina: Biodiversidade e ecologia**. Londrina: Embrapa Soja, 2007, 545p., p.297-382.

BROWN, G. G.; JAMES, S. W.; PASINI, A.; NUNES, D. H.; BENITO, N. P.; MARTINS, P. T.; SAUTTER, K. D. Exotic, Peregrine, and Invasive Earthworms in Brazil: Diversity, distribution, and effects on soils and plants. **Caribbean Journal of Science**, v.42, n.3, p.339-358, 2006.

BROWN, G. G., JAMES, S. W., SAUTTER, K. D., PASINI, A., BENITO, N. P., NUNES, D. H., KORASAKI, V., SANTOS, E. F., MATSUMURA, C., MARTINS, P. T., PAVÃO, A., SILVA, S. H., GARBELINI, G., TORRES, E., 2008. Avaliação das populações de minhocas como bioindicadores ambientais no Norte e Leste do Estado do Paraná. In: SARAIVA, O. F., LEITE, R. M. V. B. C. (Eds.), **Resultados de Pesquisa da Embrapa Soja–2005. Manejo de Solos, 296**. Plantas Daninhas e Agricultura de Precisão, Embrapa Soja, Londrina, Documentos, p. 20–29.

CHAN, K.Y. An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity – implications for functioning in soils. **Soil and Tillage Research**, v.57, p.179-191, 2001.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**: quarto levantamento: janeiro/2016. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_01\\_12\\_09\\_00\\_46\\_boletim\\_graos\\_janeiro\\_2016.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_12_09_00_46_boletim_graos_janeiro_2016.pdf). Acesso em julho de 2016.

DIDDEN, W. A. M.; MARINISSEN, J. C. Y. Effects of oligochaete worms on soil aggregates and implications for organic matter dynamics. In: Transactions 15th World Congress of Soil Science, Commission III, v. 4, p. 92-101, 1994.

FEIJOO, A.; GIL, L. V. C. Tres nuevas especies de *Righiodrilus* Zicsi 1995 (Annelida, Oligochaeta: Glossoscolecidae) de la Amazonía colombiana. **Acta Amazonica**, v. 40, n.1, 231-240, 2010.

FREITAS, M. P.; DIONÍSIO, J. A. Oligoquetos edáficos em sistemas de cultivo orgânico e convencional. **Estudos de Biologia**, v.36, n.86, p.92-102, 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Soil Quality – Sampling of soil invertebrates** – Part 3: sampling and soil extraction of enchytraeids, ISO, Genebra, Suíça, n. 23611-3, 2007.

JACOB, D.; SREELAKSHMI, K.; RAJAN, T. S.; SAMINATHAN, K.; KATHIRESWARI, P. Soil Analysis and Diversity of Earthworms in the Polluted Area of Palakkad, Kerala and Kanuvai, Coimbatore, India. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v.6, n.4, p.1594-1599, 2017.

JÄNSCH, S.; RÖMBKE, J.; DIDDEN, W. The use of enchytraeids in ecological soil classification and assessment concepts. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.62, p. 266-277, 2005.

JÄNSCH, S., STEFFENS, L., HÖFER, H., HORAK, F., ROß-NICKOLL, M., RUSSELL, D., TOSCHKI, A., RÖMBKE, J. State of knowledge of earthworm communities in German soils as a basis for biological soil quality assessment. **Soil Organisms**, v.85, p.215-232, 2013.

JONES, C. G, LAWTON, J. H, SHACHAK, M. Organisms as ecosystem engineers. **Oikos**, v.69, p.373-386, 1994.

KERNECKER, M.; WHALEN, J. K.; BRADLEY, R. L. Agricultural management and flooding shape habitats for non-native earthworms in southern Quebec, Canada. **Applied Soil Ecology**, v.96, p.240-250, 2015.

KLINTH, M. J.; MARTINSSON, S.; ERSÉUS, C. Phylogeny and species delimitation of North European *Lumbricillus* (Clitellata, Enchytraeidae). **Zoologica Scripta**, v. 46, n. 1, p. 96-110, 2017.

LANG, S. A.; SAGLAM, N.; KAWASH, J.; SHAIN, D. H. Punctuated invasion of water, ice, snow and terrestrial ecozones by segmented worms (Oligochaeta: Enchytraeidae: *Mesenchytraeus*). **Proceedings of the Royal Society B, Biological Sciences**, v. 284, n. 1864, 2017.

LANGMAACK, R., WIERMANN, C., SCHRADER, S. Interrelation between soil physical properties and Enchytraeidae abundances following a single soil compaction in arable land. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 162, p. 517-525, 1999.

LAVELLE, P. The soil fauna of tropical savannas. 1983. The community structure. In: BOURLIÈRE, F., ed. **Tropical savannas**. Amsterdam, E.S.P.C., 1983. p.477-484.

LAVELLE, P. Earthworm activities and the soil system. **Biology and Fertility of Soils**, v.6, p.237-251, 1988.

LEE, K. 1985. **Earthworms. Their ecology and relationship with soil and land use**. Academic Press, New York, 411p., 1985.

MARTINS, L. F.; PEREIRA, J. M.; TONELLI, M.; BARETTA, D. Composição da macrofauna do solo sob diferentes usos da terra (cana-de-açúcar, eucalipto e mata nativa) em Jacutinga (MG). **Revista Agrogeoambiental**, v.9, n.1, p.11-22, 2017.

MARQUES, D. M.; SILVA, A. B.; SILVA, L. M.; MOREIRA, E. A.; PINTO, G. S. Macrofauna edáfica em diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**, v.30, n.5, p. 1588-1597, 2014.

NIVA, C. C.; ROEMBKE, J.; SCHMELZ, R. M.; BROWN, G. G. Enchytraeídeos (Enchytraeidae, Oligochaeta, Annelida). In: Fatima M. S. Moreira; E. Jeroen Huising; David E. Bignell. (Org.). **Manual de Biologia dos Solos Tropicais Amostragem e Caracterização da Biodiversidade**. 1ed.Lavras: UFLA, 2010, p. 351-361.

NIVA, C. C.; CEZAR, R. M.; FONSECA, P. M.; ZAGATTO, M. R. G.; OLIVEIRA, E. M.; BUSH, E. F.; CLASEN, L. A.; BROWN, G. G. Enchytraeid abundance in araucaria mixed forest determined by cold and hot wet extraction. **Brazilian Journal of Biology**, v.75, n.4, p.169-175, 2015.

ORTIZ-GAMINO, D., PÉREZ-RODRÍGUEZ, P., ORTIZ-CEBALLOS, A.I. Invasion of the tropical earthworm *Pontoscolex corethrurus* (Rhinodrilidae, Oligochaeta) in temperate grasslands. **PeerJ Preprints**, v.4, p.1-20, e2572, 2016.

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

PRANTONI, A. L.; DE WIT, P.; ERSEÚS, C. First reports of *Grania* (Clitellata: Enchytraeidae) from Africa and South America: molecular phylogeny and descriptions of nine new species **Zoological Journal of the Linnean Society**, v.176, n.3, p.485-510, 2016.

R CORE TEAM (2017). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. Disponível em: < <https://www.R-project.org/>>.

RAFAEL, J. A. Chave para as ordens (adultos). In: RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, J. B.; CASARI, S. A.; CONSTANTINO, R. (Eds.). **Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia**. Ribeirão Preto: Halos, Editora, 2012. P.191-196.

REINECKE, A. J.; REINECKE, S. A.; VAN WYK, M. The suitability of potworms (Enchytraeidae) and plants to test the toxicity of oil refinery sludge. **South African Journal of Science and Technology**, v.35, n.1, a1382, 2016.

RIGHI, G. *Pontoscolex* (Oligochaeta, Glossoscolecidae), a new evaluation, **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v.19, n.3, p.159-177, 1984.

RIGHI, G., 1990. **Minhocas de Mato Grosso e Rondônia**. CNPq/AED, Relatório de Pesquisa, 12. Programa Polonoroeste, Brasília, 157p., 1990.

RIGHI, G., 1995. Colombian earthworms. In: van der Hammen, T. (Ed.), **Studies on Tropical Andean Ecosystems**, 4. Cramer (Borntraeger), Berlin-Stuttgart, p.485-607, 1995.

RIGHI, G. Oligoquetas. 1998. In: MACHADO, A. B. M.; FONSECA, G. A. B.; AGUIAR, L. M. S.; LINS, L. V. (Eds.). **Livro vermelho das espécies ameaçadas de extinção da fauna de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Fundação Biodiversas. p.573-583, 1998.

RÖMBKE, J.; MELLER, M. Applied research on Enchytraeidae in Central Amazonia: project approach, methodology and first results. **Newsletter on Enchytraeidae**, v.6, p.69-75, 1999.

RÖMBKE, J. Enchytraeidae of tropical soils: state of the art, with special emphasis on Latin America. *Folia Facultatis Scientiarum Naturalium Universitatis Masarykianae Brunensis*, **Biologia**, v.110, p.157-181, 2007.

RÖMBKE, J.; COLLADO, R.; SCHMELZ, R. M. Abundance, distribution, and indicator potential of enchytraeid genera (Enchytraeidae, Clitellata) in secondary forests and pastures of the Mata Atlantica (Parana, Brazil). **Acta Hydrobiologica Sinica**, v.31, p.139-150, 2007.

RÖMBKE, J., COLLADO, R.; HÖFER, H.; OTTERMANN, R.; RAUB, F.; ROSS-NICKOLL, M.; SCHMELZ, R. M. Species diversity of Enchytraeidae (Oligochaeta) in pastures, regenerating secondary forests, and old-growth forests in the southern Mata Atlântica (Brazil). **Soil Organisms**, v.87, n.2, p.101-130, 2015.

ROTA, E.; CARUSO, T.; BARGAGKI, R. Community structure, diversity and spatial organization of enchytraeids in Mediterranean urban holm oak stands. **European Journal of Soil Biology**, v.62, p.83-91, 2014.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BALBINO, L. C. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.1, p.115-122, 2008.

SANTOS, D. P.; SANTOS, G. G.; SANTOS, I. L.; SCHOSSLER, T. R.; NIVA, C. C.; MARCHÃO, R. L. Caracterização da macrofauna edáfica em sistemas de produção de grãos no Sudoeste do Piauí. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1466-1475, 2016.

SCHIAVON, G. A.; LIMA, A. C. R.; SCHIEDECK, G.; SCHWENGBER, J. E.; SCHUBERT, R. N.; PEREIRA, C. V. O conhecimento local sobre a fauna edáfica e suas relações com o solo em agroecossistema familiar de base ecológica: um estudo de caso. **Ciência Rural**, online, disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20121185> acessado em novembro de 2017.

SCHMELZ, R. M.; COLLADO, R. **Taxonomy Workbook for South American terrestrial and freshwater Enchytraeids (Oligochaeta)**. A Coruña, Spain: Fac. Ciencias, Biología Animal, 2010. 92 p.

SCHMELZ, R.M.; NIVA, CC.; RÖMBKE, J. & COLLADO, R. Diversity of terrestrial Enchytraeidae (Oligochaeta) in Latin America: Current knowledge and future research potential. **Applied Soil Ecology**, v.69, p.13-20, 2013.

SCHMELZ, R. M.; COLLADO, R. Checklist of taxa of Enchytraeidae (Oligochaeta): an update. **Soil Organisms**, v.87, n.2, p.149-152, 2015.

SCHON, N. L.; GRAY, R. A.; MACKAY, A. D. Earthworms stimulate pasture production in sheep and beef systems: their economic value. **Journal of New Zealand Grasslands**, v.78, p.89-92, 2016.

- SILVA, J. M. C.; BATES, J. M. Biogeographic Patterns and Conservation in the South American Cerrado: A Tropical Savanna Hotspot: The Cerrado, which includes both forest and savanna habitats, is the second largest South American biome, and among the most threatened on the continent. **BioScience**, v.52, n.3, p.225-234, 2002.
- SILVA, R. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. F. Populações de oligoquetos (Annelida: Oligochaeta) em um Latossolo Vermelho submetido a sistemas de uso do solo. **Ciência Rural**, v.36, n.2, p.673-677, 2006. A.
- SILVA, R. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.4, p.697-704, 2006. B.
- SILVA, R. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. F. Macrofauna invertebrada do solo em sistema integrado de produção agropecuária no Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.30, n. suplementar, p.725-731, 2008.
- SILVA, C. R.; SOUZA, K. B.; FURTADO, W. F. Avaliação do avanço da agricultura intensiva no Cerrado piauiense. **Engvista**, v.16, n.3, p. 432-439, 2014.
- STRASSBURG, B.B.N.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEC, A.E.; OLIVEIRA-FILHO, F.J.B.; SCARAMUZZA, C.A.M.; SCARANO, F.R.; SOARES-FILHO, B.; BALMFORD, A. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature ecology & evolution**, v.1, p.1-3, 2017
- SWIFT, M.J.; HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Oxford: Blackwell, 1979. 372p. (Studies in ecology, 5).
- TAHERI, S.; PELOSI, C.; DUPONT, L. Harmful or useful? A case study of the exotic peregrine earthworm morphospecies *Pontoscolex corethrurus*. **Soil Biology and Biochemistry**, v.116, p.277-289, 2018.
- TANCK, B. C. B.; DIONÍSIO, J. A.; SANTOS, H. R. Influência de diferentes sistemas de uso e manejo do solo sobre a flutuação populacional de Oligochaeta edáfico *Amyntas* spp. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.2, p.409-415, 2000.
- VAN VLIET, P. C. J.; COLEMAN, D. C.; HENDRIX, P. F. Population dynamics of Enchytraeidae (Oligochaeta) in different agricultural systems. **Biology and Fertility of Soils**, v. 25, p. 123-129, 1997.
- WOLFRUM, S.; ZVORYKINA, A.; KÖHLER, A.; PAPAJA-HÜLSBERGEN, S. Earthworm diversity and ecosystem services in agriculture – Choosing appropriate taxon indicators and measurements. **Acta Fytotechnica et Zootechnica**, v.18, p.163-165, 2018.
- YIN, X.; QIU, L.; TU, Y.; TAO, Y.; AN, J.; XIN, W.; JIANG, Y. Characteristics of soil macrofauna community and CCA analysis between soil macrofauna and soil properties in the wetlands of the Lhasa River basin. **Acta Ecologica Sinica**, v.35, p.210-215, 2015.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fauna edáfica do Cerrado é diversa e dependente de uma combinação de fatores que podem ser modificados pelo manejo, como a viabilidade de teores de nutrientes e matéria orgânica, capacidade de retenção de água e microrganismos, além de apresentar padrões de dominância de grupos edáficos, também relacionados ao manejo.

Embora tais relações ainda não sejam claras para determinados gêneros e a baixa densidade de alguns indivíduos dificultem o estabelecimento das mesmas, estas podem ser utilizadas como classificadoras da qualidade ou degradação de um solo ou ecossistema, principalmente quando se observa a presença de grupos exóticos ou de ampla distribuição.

A área de Cerrado nativo não apresentou a maior riqueza de organismos, a nível de famílias, para a macrofauna, e apresenta espécies peregrinas e gêneros de ampla distribuição para minhocas e enquitreídeos, respectivamente. Entretanto, tal afirmação não pode ser generalizada, considerando que a identificação da macrofauna não foi realizada a nível de gêneros ou espécies. Ainda que para minhocas a identificação tenha sido realizada pelo taxonomista Samuel Wooster James, a identificação dos demais macrorganismos edáficos se faz tarefa difícil e trabalhosa, principalmente pela falta de profissionais na área e também pela falta de tecnologias nos centros de pesquisa envolvidos no desenvolvimento do trabalho (Universidade de Brasília e Embrapa Cerrados).

Existe a necessidade de avaliar em conjunto outras variáveis ambientais, como diferentes frações da matéria orgânica do solo, vegetação acima do solo e a liberação de compostos alelopáticos. Também é observada a necessidade de avaliação das populações do Cerrado por maiores períodos e em maiores graus de detalhamento, com a finalidade de se obter padrões ou tendências de resposta destas ao meio, especialmente para grupos de organismos edáficos que não possuem funções ecológicas muito estabelecidas em ambientes tropicais, como enquitreídeos.

## ANEXO I

### ENQUITREÍDEOS

- Variáveis Químicas

Tabela 1. Determinação da influência das variáveis químicas do solo sobre a abundância do gênero *Achaeta* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de *Leucena* com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável         | Estimativa           | Erro Padrão          | P valor | Probabilidade (%)     |
|------------------|----------------------|----------------------|---------|-----------------------|
| Intercepto       | 1,27e <sup>+02</sup> | 3,37e <sup>+04</sup> | 1,00    |                       |
| Al <sup>3+</sup> | 68,14                | 7,32e <sup>+03</sup> | 0,99    | 3,91e <sup>+31</sup>  |
| Ca <sup>2+</sup> | 2,88                 | 7,97e <sup>+03</sup> | 1,00    | 16,76e <sup>+02</sup> |
| K <sup>+</sup>   | 0,64                 | 8,55e <sup>+01</sup> | 0,99    | 89,60                 |
| Mg <sup>2+</sup> | -27,28               | 8,52e <sup>+03</sup> | 1,00    | 1,42e <sup>-10</sup>  |
| pH               | -53,38               | 7,07                 | 0,99    | 100                   |
| P                | -47,87               | 1,18e <sup>+03</sup> | 1,00    | 99,16                 |
| C                | 3,18                 | 2,80e <sup>+02</sup> | 0,99    | 2,30e <sup>+03</sup>  |
| N                | 10,38                | 2,10e <sup>+03</sup> | 1,00    | 3,22e <sup>+06</sup>  |
| C:N              | 10,54                | 1,30e <sup>+03</sup> | 0,99    | 3,77e <sup>+06</sup>  |
| MOS              | -29,70               | 2,69e <sup>+03</sup> | 0,99    | 100                   |
| CTC              | -92,00               | 8,75e <sup>+03</sup> | 0,99    | 100                   |

Tabela 2. Determinação da influência das variáveis químicas do solo sobre a abundância do gênero *Enchytraeus* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável         | Estimativa            | Erro Padrão          | P valor | Probabilidade (%)    |
|------------------|-----------------------|----------------------|---------|----------------------|
| Intercepto       | -6,92e <sup>+01</sup> | 3,02e <sup>+04</sup> | 1,00    |                      |
| Al <sup>3+</sup> | 2,34e <sup>+04</sup>  | 9,93e <sup>+03</sup> | 1,00    | 1,43e <sup>+12</sup> |
| Ca <sup>2+</sup> | -2,64                 | 2,01e <sup>+03</sup> | 1,00    | 92,87                |
| K <sup>+</sup>   | 6,32e <sup>-02</sup>  | 1,34e <sup>+01</sup> | 1,00    | 6,52                 |
| Mg <sup>2+</sup> | 3,64e <sup>-01</sup>  | 3,77e <sup>+03</sup> | 1,00    | 43,88                |
| pH               | 2,06e <sup>+01</sup>  | 2,50e <sup>+03</sup> | 0,99    | 8,72e <sup>+10</sup> |
| P                | -2,80e <sup>+01</sup> | 1,83e <sup>+02</sup> | 1,00    | 24,39                |
| C                | -1,04                 | 4,52e <sup>+02</sup> | 1,00    | 64,84                |
| N                | 2,75                  | 5,00e <sup>+02</sup> | 1,00    | 1,46e <sup>+06</sup> |
| C:N              | -2,57                 | 2,58e <sup>+02</sup> | 0,99    | 92,35                |
| MOS              | -3,92                 | 2,20e <sup>+03</sup> | 1,00    | 98,01                |
| CTC              | -2,33e <sup>+01</sup> | 7,39e <sup>+03</sup> | 1,00    | 100                  |

Tabela 3. Determinação da influência das variáveis químicas do solo sobre a abundância do gênero *Fridericia* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável         | Estimativa           | Erro Padrão          | P valor | Probabilidade (%)    |
|------------------|----------------------|----------------------|---------|----------------------|
| Intercepto       | 29,62                | 9,18e <sup>+03</sup> | 1,00    |                      |
| Al <sup>3+</sup> | -19,50               | 2,79e <sup>+03</sup> | 0,99    | 100                  |
| Ca <sup>2+</sup> | -23,53               | 7,07e <sup>+02</sup> | 0,97    | 100                  |
| K <sup>+</sup>   | 4,36e <sup>-02</sup> | 5,14                 | 0,99    | 4,45                 |
| Mg <sup>2+</sup> | 14,90                | 1,68e <sup>+03</sup> | 0,99    | 2,96e <sup>+08</sup> |
| pH               | 4,46                 | 1,62e <sup>+03</sup> | 1,00    | 98,85                |
| P                | -0,44                | 2,33e <sup>+02</sup> | 1,00    | 35,84                |
| C                | 1,47                 | 2,26e <sup>+02</sup> | 0,99    | 3,33e <sup>+02</sup> |
| N                | -11,07               | 4,54e <sup>+02</sup> | 0,98    | 100                  |
| C:N              | -0,03                | 2,11e <sup>+02</sup> | 1,00    | 97,26                |
| MOS              | 35,70                | 5,83e <sup>+02</sup> | 0,95    | 3,19e <sup>+17</sup> |
| CTC              | 1,84                 | 1,76e <sup>+03</sup> | 1,00    | 5,28e <sup>+02</sup> |

Tabela 4. Determinação da influência das variáveis químicas do solo sobre a abundância do gênero *Guaranidrilus* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável         | Estimativa            | Erro Padrão          | P valor | Probabilidade (%)    |
|------------------|-----------------------|----------------------|---------|----------------------|
| Intercepto       | -1,22e <sup>+02</sup> | 7,35e <sup>+03</sup> | 0,99    |                      |
| Al <sup>3+</sup> | 54,90                 | 1,30e <sup>+03</sup> | 0,97    | 6,94e <sup>+25</sup> |
| Ca <sup>2+</sup> | -29,24                | 2,29e <sup>+03</sup> | 0,99    | 100                  |
| K <sup>+</sup>   | -0,13                 | 9,16                 | 0,99    | 12,42                |
| Mg <sup>2+</sup> | 1,49                  | 1,62e <sup>+03</sup> | 0,99    | 3,44e <sup>+02</sup> |
| pH               | 43,02                 | 1,30e <sup>+03</sup> | 0,97    | 4,84e <sup>+20</sup> |
| P                | -3,25                 | 1,00e <sup>+02</sup> | 0,97    | 96,13                |
| C                | 2,28                  | 82,36                | 0,98    | 8,76e <sup>+02</sup> |
| N                | -0,67                 | 8,33e <sup>+02</sup> | 1,00    | 48,90                |
| C:N              | -0,35                 | 1,74e <sup>+02</sup> | 1,00    | 29,68                |
| MOS              | -5,30                 | 1,13e <sup>+03</sup> | 1,00    | 99,50                |
| CTC              | -28,56                | 9,06e <sup>+02</sup> | 0,97    | 100                  |

Tabela 5. Determinação da influência das variáveis químicas do solo sobre a abundância do gênero *Hemienchytraeus* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável         | Estimativa | Erro Padrão          | P valor              | Probabilidade (%)    |
|------------------|------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Intercepto       | 216,83     | 5,13e <sup>+05</sup> | 1,00                 |                      |
| Al <sup>3+</sup> | 31,45      | 9,74e <sup>+03</sup> | 1,00                 | 4,58e <sup>+15</sup> |
| Ca <sup>2+</sup> | -8,40      | 1,01e <sup>+04</sup> | 1,00                 | 99,98                |
| K <sup>+</sup>   | 0,32       | 92,35                | 1,00                 | 38,18                |
| Mg <sup>2+</sup> | -61,54     | 1,59e <sup>+04</sup> | 1,00                 | 100                  |
| pH               | -61,80     | 1,64e <sup>+04</sup> | 1,00                 | 100                  |
| P                | -2,47      | 1,32e <sup>+03</sup> | 1,00                 | 91,52                |
| C                | 3,79       | 4,52e <sup>+02</sup> | 4,52e <sup>+02</sup> | 4,32e <sup>+03</sup> |
| N                | -0,44      | 2,84e <sup>+03</sup> | 1,00                 | 64,67                |
| C:N              | 5,09       | 1,48e <sup>+03</sup> | 1,00                 | 1,61e <sup>+04</sup> |
| MOS              | 3,94       | 2,68e <sup>+03</sup> | 1,00                 | 5,07e <sup>+03</sup> |
| CTC              | -47,76     | 1,15e <sup>+04</sup> | 1,00                 | 100                  |

Tabela 6. Determinação da influência das variáveis químicas do solo sobre a abundância do gênero *Tupidrilus* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável         | Estimativa            | Erro Padrão          | P valor | Probabilidade (%)    |
|------------------|-----------------------|----------------------|---------|----------------------|
| Intercepto       | -54,55                | 6,74e <sup>+04</sup> | 1,00    |                      |
| Al <sup>3+</sup> | 2,14e <sup>+01</sup>  | 2,14e <sup>+04</sup> | 1,00    | 1,99e <sup>+11</sup> |
| Ca <sup>2+</sup> | -1,11                 | 3,41e <sup>+03</sup> | 1,00    | 67,07                |
| K <sup>+</sup>   | 3,15e <sup>-02</sup>  | 3,60e <sup>+01</sup> | 1,00    | 1,03e <sup>+02</sup> |
| Mg <sup>2+</sup> | 1,32e <sup>+01</sup>  | 5,67e <sup>+03</sup> | 1,00    | 5,55e <sup>+07</sup> |
| pH               | 1,40e <sup>+01</sup>  | 7,64e <sup>+03</sup> | 1,00    | 1,18e <sup>+08</sup> |
| P                | 6,72e <sup>-01</sup>  | 3,69e <sup>+02</sup> | 1,00    | 95,77                |
| C                | -1,98                 | 7,12e <sup>+02</sup> | 1,00    | 86,16                |
| N                | 1,11                  | 1,64e <sup>+03</sup> | 1,00    | 2,04e <sup>+02</sup> |
| C:N              | -2,32                 | 5,29e <sup>+02</sup> | 1,00    | 90,15                |
| MOS              | -7,64e <sup>-02</sup> | 6,41e <sup>+03</sup> | 1,00    | 7,36                 |
| CTC              | -1,33e <sup>+01</sup> | 2,23e <sup>+04</sup> | 1,00    | 100                  |

• Variáveis Físicas

Tabela 7. Determinação da influência das variáveis físicas do solo (PT: Porosidade total; Micro: Microporosidade. Macro: Macroporosidade. K<sub>s</sub>: Condutividade hidráulica saturada) sobre a abundância do gênero *Enchytraeus* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável       | Estimativa | Erro Padrão | P valor | Probabilidade (%)    |
|----------------|------------|-------------|---------|----------------------|
| Intercepto     | 1,32e+02   | 1,30e+05    | 1,00    |                      |
| Densidade      | 1,05e+02   | 2,95e+04    | 1,00    | 3,44e <sup>+47</sup> |
| PT             | -1,45e+04  | 3,93e+06    | 1,00    | 100                  |
| Micro          | 1,39e+04   | 4,12e+06    | 1,00    | Inf                  |
| Macro          | 1,47e+04   | 4,05e+06    | 1,00    | Inf                  |
| K <sub>s</sub> | -2,62e-01  | 1,03e+02    | 1,00    | 23,08                |

Tabela 8. Determinação da influência das variáveis físicas do solo (PT: Porosidade total; Micro: Microporosidade. Macro: Macroporosidade.  $K_s$ : Condutividade hidráulica saturada) sobre a abundância do gênero *Fridericia* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável   | Estimativa            | Erro Padrão          | P valor | Probabilidade (%) |
|------------|-----------------------|----------------------|---------|-------------------|
| Intercepto | 6,41e <sup>+02</sup>  | 3,72e <sup>+04</sup> | 0,99    |                   |
| Densidade  | -1,39e <sup>+02</sup> | 3,78e <sup>+03</sup> | 0,97    | 100               |
| PT         | -5,49e <sup>+04</sup> | 1,12e <sup>+06</sup> | 0,96    | 100               |
| Micro      | 5,43e <sup>+04</sup>  | 1,07e <sup>+06</sup> | 0,96    | Inf               |
| Macro      | 5,31e <sup>+04</sup>  | 1,05e <sup>+06</sup> | 0,96    | Inf               |
| $K_s$      | 3,63e <sup>-01</sup>  | 3,36                 | 0,91    | 43,81             |

Tabela 9. Determinação da influência das variáveis físicas do solo (PT: Porosidade total; Micro: Microporosidade. Macro: Macroporosidade.  $K_s$ : Condutividade hidráulica saturada) sobre a abundância do gênero *Guaranidrilus* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável   | Estimativa            | Erro Padrão          | P valor | Probabilidade (%) |
|------------|-----------------------|----------------------|---------|-------------------|
| Intercepto | 5,16e <sup>+02</sup>  | 6,90e <sup>+03</sup> | 0,94    |                   |
| Densidade  | -4,21e <sup>+01</sup> | 2,22e <sup>+03</sup> | 0,98    | 100               |
| PT         | 8,04e <sup>+03</sup>  | 2,85e <sup>+05</sup> | 0,98    | Inf               |
| Micro      | 8,79e <sup>+03</sup>  | 2,91e <sup>+05</sup> | 0,98    | 100               |
| Macro      | -9,54e <sup>+03</sup> | 2,96e <sup>+05</sup> | 0,97    | 100               |
| $K_s$      | 3,75e <sup>-02</sup>  | 7,90e <sup>-01</sup> | 0,96    | 3,82              |

Tabela 10. Determinação da influência das variáveis físicas do solo (PT: Porosidade total; Micro: Microporosidade. Macro: Macroporosidade.  $K_s$ : Condutividade hidráulica saturada) sobre a abundância do gênero *Tupidrilus* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável   | Estimativa | Erro Padrão | P valor | Probabilidade (%)    |
|------------|------------|-------------|---------|----------------------|
| Intercepto | -6,18e+01  | 9,88e+04    | 1,00    |                      |
| Densidade  | 3,25e+01   | 2,22e+04    | 1,00    | 1,29e <sup>+16</sup> |
| PT         | 2,87e+03   | 3,32e+06    | 1,00    | Inf                  |
| Micro      | -2,94e+03  | 3,46e+06    | 1,00    | 100                  |
| Macro      | -2,78e+03  | 3,44e+06    | 1,00    | 100                  |
| $K_s$      | -4,79e-02  | 2,22e+01    | 1,00    | 4,68                 |

• Variáveis Microbiológicas

Tabela 11. Determinação da influência das variáveis microbiológicas do solo (Fosfatase ácida, CBM: Carbono microbiano; NBM: Nitrogênio microbiano) sobre a abundância do gênero *Enchytraeus* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável   | Estimativa            | Erro Padrão          | P valor | Probabilidade (%)    |
|------------|-----------------------|----------------------|---------|----------------------|
| Intercepto | 1,32e <sup>+02</sup>  | 1,31e <sup>+05</sup> | 1,00    |                      |
| Fosfatase  | 1,69e <sup>-02</sup>  | 3,63e <sup>+01</sup> | 1,00    | 1,68                 |
| CBM        | -6,18e <sup>-02</sup> | 9,06e <sup>+01</sup> | 1,00    | 5,99                 |
| NBM        | 9,48e <sup>-01</sup>  | 6,00e <sup>+02</sup> | 1,00    | 1,58e <sup>+02</sup> |

Tabela 12. Determinação da influência das variáveis microbiológicas do solo (Fosfatase ácida, CBM: Carbono microbiano; NBM: Nitrogênio microbiano) sobre a abundância do gênero *Fridericia* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável   | Estimativa            | Erro Padrão          | P valor | Probabilidade (%)    |
|------------|-----------------------|----------------------|---------|----------------------|
| Intercepto | 6,41e <sup>+02</sup>  | 3,72e <sup>+04</sup> | 0,99    |                      |
| Fosfatase  | -1,73e <sup>-02</sup> | 3,24                 | 1,00    | 1,72                 |
| CBM        | -2,31e <sup>-01</sup> | 2,97                 | 0,94    | 1,72                 |
| NBM        | 2,45                  | 3,19e <sup>+01</sup> | 0,94    | 1,06e <sup>+03</sup> |

Tabela 13. Determinação da influência das variáveis microbiológicas do solo (Fosfatase ácida, CBM: Carbono microbiano; NBM: Nitrogênio microbiano) sobre a abundância do gênero *Guaranidrilus* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* (Leu) e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável   | Estimativa            | Erro Padrão          | P valor | Probabilidade (%) |
|------------|-----------------------|----------------------|---------|-------------------|
| Intercepto | 5,16e <sup>+02</sup>  | 6,90e <sup>+03</sup> | 0,94    |                   |
| Fosfatase  | 1,36e <sup>-02</sup>  | 1,03e <sup>-01</sup> | 0,89    | 1,37              |
| CBM        | 3,77e <sup>-02</sup>  | 1,72                 | 0,98    | 3,85              |
| NBM        | -1,55e <sup>-02</sup> | 1,45e <sup>+01</sup> | 1,00    | 1,54              |

Tabela 14. Determinação da influência das variáveis microbiológicas do solo (Fosfatase ácida, CBM: Carbono microbiano; NBM: Nitrogênio microbiano) sobre a abundância do gênero *Tupidrilus* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* a Pleno Sol com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável   | Estimativa            | Erro Padrão          | P valor | Probabilidade (%) |
|------------|-----------------------|----------------------|---------|-------------------|
| Intercepto | -6,18e <sup>+01</sup> | 9,88e <sup>+04</sup> | 1,00    |                   |
| Fosfatase  | 1,55e <sup>-02</sup>  | 9,03                 | 1,00    | 1,56              |
| CBM        | -1,52e <sup>-02</sup> | 2,28e <sup>+01</sup> | 1,00    | 1,50              |
| NBM        | 2,83e <sup>-01</sup>  | 1,35e <sup>+02</sup> | 1,00    | 32,71             |

## MINHOCAS

### • Variáveis Químicas

Tabela 15. Determinação da influência das variáveis químicas do solo sobre a abundância do gênero *Rhizodrilus* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável         | Estimativa            | Erro Padrão          | P valor | Probabilidade (%)    |
|------------------|-----------------------|----------------------|---------|----------------------|
| Intercepto       | -1,47e <sup>+02</sup> | 1,49e <sup>+06</sup> | 1,00    |                      |
| Al <sup>3+</sup> | -4,91                 | 1,39e <sup>+05</sup> | 1,00    | 99,26                |
| Ca <sup>2+</sup> | -2,21e <sup>+01</sup> | 8,67e <sup>+04</sup> | 1,00    | 100                  |
| K <sup>+</sup>   | -6,59e <sup>-01</sup> | 1,40e <sup>+03</sup> | 1,00    | 48,25                |
| Mg <sup>2+</sup> | 2,75e <sup>+01</sup>  | 4,83e <sup>+04</sup> | 1,00    | 8,86e <sup>+13</sup> |
| pH               | 5,65                  | 3,11e <sup>+05</sup> | 1,00    | 2,84e <sup>+04</sup> |
| P                | -8,63                 | 4,07e <sup>+04</sup> | 1,00    | 99,98                |
| C                | 1,09                  | 1,34e <sup>+04</sup> | 1,00    | 1,97e <sup>+02</sup> |
| N                | -1,30                 | 1,68e <sup>+04</sup> | 1,00    | 72,81                |
| C:N              | -3,98                 | 1,08e <sup>+04</sup> | 1,00    | 98,14                |
| MOS              | 3,44e <sup>+01</sup>  | 4,85e <sup>+04</sup> | 1,00    | 8,49e <sup>+16</sup> |
| CTC              | -3,45e <sup>+01</sup> | 2,04e <sup>+05</sup> | 1,00    | 100                  |

Tabela 16. Determinação da influência das variáveis químicas do solo sobre a abundância do gênero *Andiorrhinus* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão (Cer), áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável         | Estimativa            | Erro Padrão          | P valor | Probabilidade (%)     |
|------------------|-----------------------|----------------------|---------|-----------------------|
| Intercepto       | -3,02e <sup>+02</sup> | 1,82e <sup>+06</sup> | 1,00    |                       |
| Al <sup>3+</sup> | -1,64e <sup>+01</sup> | 4,09e <sup>+05</sup> | 1,00    | 100                   |
| Ca <sup>2+</sup> | 9,93                  | 2,40e <sup>+05</sup> | 1,00    | 2,06e <sup>+06</sup>  |
| K <sup>+</sup>   | 4,45e <sup>-02</sup>  | 1,28e <sup>+03</sup> | 1,00    | 4,55                  |
| Mg <sup>2+</sup> | -3,19e <sup>+01</sup> | 4,94e <sup>+05</sup> | 1,00    | 100                   |
| pH               | 4,10e <sup>+01</sup>  | 4,88e <sup>+05</sup> | 1,00    | -6,62e <sup>+19</sup> |
| P                | -1,71                 | 4,24e <sup>+04</sup> | 1,00    | 81,98                 |
| C                | -1,89                 | 2,07e <sup>+04</sup> | 1,00    | 84,86                 |
| N                | -1,10                 | 1,82e <sup>+05</sup> | 1,00    | 66,82                 |
| C:N              | 3,77                  | 4,99e <sup>+04</sup> | 1,00    | 4,22e <sup>+03</sup>  |
| MOS              | 1,54e <sup>+01</sup>  | 1,97e <sup>+05</sup> | 1,00    | 5,15e <sup>+08</sup>  |
| CTC              | 1,69                  | 3,16e <sup>+05</sup> | 1,00    | 4,40e <sup>+02</sup>  |

• Variáveis Físicas

Tabela 17. Determinação da influência das variáveis físicas do solo (PT: Porosidade total; Micro: Microporosidade. Macro: Macroporosidade. K<sub>s</sub>: Condutividade hidráulica saturada) sobre a abundância do gênero *Righiodrilus* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável       | Estimativa            | Erro Padrão          | P valor | Probabilidade (%) |
|----------------|-----------------------|----------------------|---------|-------------------|
| Intercepto     | 8,57e <sup>+02</sup>  | 7,26e <sup>+05</sup> | 1,00    |                   |
| Densidade      | -2,25e <sup>+01</sup> | 7,37e <sup>+05</sup> | 1,00    | 100               |
| PT             | 1,47e <sup>+04</sup>  | 1,67e <sup>+07</sup> | 1,00    | Inf               |
| Micro          | -1,61e <sup>+04</sup> | 1,68e <sup>+07</sup> | 1,00    | Inf               |
| Macro          | -1,56e <sup>+04</sup> | 1,66e <sup>+07</sup> | 1,00    | 100               |
| K <sub>s</sub> | -4,17e <sup>-01</sup> | 6,13e <sup>+02</sup> | 1,00    | 34,10             |

Tabela 18. Determinação da influência das variáveis físicas do solo (PT: Porosidade total; Micro: Microporosidade. Macro: Macroporosidade.  $K_s$ : Condutividade hidráulica saturada) sobre a abundância do gênero *Andiorrhinus* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável   | Estimativa            | Erro Padrão          | P valor | Probabilidade (%)    |
|------------|-----------------------|----------------------|---------|----------------------|
| Intercepto | -7,70e <sup>+03</sup> | 1,15e <sup>+06</sup> | 0,99    |                      |
| Densidade  | -5,14e <sup>+03</sup> | 7,09e <sup>+05</sup> | 0,99    | 100                  |
| PT         | -1,97e <sup>+04</sup> | 1,79e <sup>+07</sup> | 1,00    | 100                  |
| Micro      | 3,99e <sup>+04</sup>  | 1,85e <sup>+07</sup> | 1,00    | Inf                  |
| Macro      | 3,12e <sup>+04</sup>  | 1,82e <sup>+07</sup> | 1,00    | Inf                  |
| $K_s$      | 2,59                  | 5,59e <sup>+02</sup> | 1,00    | 1,23e <sup>+03</sup> |

#### • Variáveis Microbiológicas

Tabela 19. Determinação da influência das variáveis microbiológicas do solo (Fosfatase ácida, CBM: Carbono microbiano; NBM: Nitrogênio microbiano) sobre a abundância do gênero *Rhizodrilus* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável   | Estimativa            | Erro Padrão          | P valor | Probabilidade (%) |
|------------|-----------------------|----------------------|---------|-------------------|
| Intercepto | 8,57e <sup>+02</sup>  | 7,26e <sup>+05</sup> | 1,00    |                   |
| Fosfatase  | -1,97e <sup>-01</sup> | 1,15e <sup>+02</sup> | 1,00    | 17,88             |
| CBM        | 3,93e <sup>-01</sup>  | 4,30e <sup>+02</sup> | 1,00    | 48,19             |
| NBM        | -2,51                 | 3,11e <sup>+03</sup> | 1,00    | 91,84             |

Tabela 20. Determinação da influência das variáveis microbiológicas do solo (Fosfatase ácida, CBM: Carbono microbiano; NBM: Nitrogênio microbiano) sobre a abundância do gênero *Andiorrhinus* pelo modelo de regressão de Poisson em área natural de Cerradão, áreas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, pastagem de *Urochloa brizantha* com três anos, pastagem de *Urochloa brizantha* com seis anos de idade, sistema silvipastoril de Leucena com *Urochloa brizantha* e plantio de *Eucalyptus* sp.

| Variável   | Estimativa            | Erro Padrão          | P valor | Probabilidade (%)    |
|------------|-----------------------|----------------------|---------|----------------------|
| Intercepto | -7,70e <sup>+03</sup> | 1,15e <sup>+06</sup> | 0,99    |                      |
| Fosfatase  | 7,45e <sup>-01</sup>  | 1,41e <sup>+02</sup> | 1,00    | 2,11e <sup>+02</sup> |
| CBM        | -1,19                 | 3,89e <sup>+02</sup> | 1,00    | 69,58                |
| NBM        | 2,22e <sup>+01</sup>  | 4,84e <sup>+03</sup> | 1,00    | 4,49e <sup>+11</sup> |