



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**INVERTEBRADOS EPÍGEOS COMO INDICADORES DE RECUPERAÇÃO
DE ÁREA DEGRADADA TRATADA COM LODO DE ESGOTO E
RESÍDUOS DE PODA DE ÁRVORES**

TATIANA CRUZ AMARAL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA/DF
MARÇO/2017



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**INVERTEBRADOS EPÍGEOS COMO INDICADORES DE RECUPERAÇÃO
DE ÁREA DEGRADADA TRATADA COM LODO DE ESGOTO E
RESÍDUOS DE PODA DE ÁRVORES**

TATIANA CRUZ AMARAL

ORIENTADOR: Dra. ALESSANDRA MONTEIRO DE PAULA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

PUBLICAÇÃO: 140/2017

BRASÍLIA/DF

MARÇO/2017



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**INVERTEBRADOS EPÍGEOS COMO INDICADORES DE RECUPERAÇÃO
DE ÁREA DEGRADADA TRATADA COM LODO DE ESGOTO E
RESÍDUOS DE PODA DE ÁRVORES**

TATIANA CRUZ AMARAL

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO
DO GRAU DE MESTRE EM AGRONOMIA.**

APROVADA POR:

ALESSANDRA MONTEIRO DE PAULA (Orientadora)
Dra /FAV-UnB/ (Orientadora) CPF 820.032.201-78, e-mail- alessandramp@unb.br

MARIA LUCRÉCIA GEROSA RAMOS (Examinador interno)
PhD/FAV-UnB/ (Membro interno) CPF 002.094.438- 12, email-lucreciaunb@gmail.com

CINTIA CARLA NIVA (Examinador externo)
Pesquisadora Doutora/Embrapa Cerrados CPF: 779.487.349-53,
e-mail: cintia.niva@embrapa.br

BRASÍLIA/DF, 10 de MARÇO de 2017.

FICHA CATALOGRÁFICA

Amaral, Tatiana Cruz

Invertebrados epígeos como indicadores de recuperação de área degradada tratada com lodo de esgoto e resíduos de poda de árvores/Tatiana Cruz Amaral./
Orientação: Alessandra Monteiro de Paula. – Brasília, 2017.

81 p. : il.

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2017.

1. Invertebrados epígeos. 2. Lodo de Esgoto 3. Poda de árvores. 4. Recuperação de áreas degradadas.

I. Monteiro, A.P.de II. D.

CDD ou CDU
Agris / FAO

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AMARAL, T.C. **Invertebrados epígeos como indicadores de recuperação de área degradada tratada com lodo de esgoto e resíduos de poda de árvores.** Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2017, 81 p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Tatiana Cruz Amaral

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: **Invertebrados epígeos como indicadores de recuperação de área degradada tratada com lodo de esgoto e resíduos de poda de árvores.**

GRAU: MESTRE

ANO: 2017

É concedida à Universidade de Brasília de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

Nome: TATIANA CRUZ AMARAL

CPF: 793.057.171-87

Tel. 3967-7159/98174-0675

E-mail: tatianacruzamaral@hotmail.com

*À minha mãe (in memoriam), meu pai, meus irmãos, meu esposo, em especial aos meus filhos
Gustavo, Gabriel e Ana Laura.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, ser unipotente, que está sempre presente em minha vida, me guiando, iluminando, dando sabedoria e força para que eu nunca desista da realização dos meus sonhos.

À minha mãe (Helena Maria Cruz Amaral – in memoriam) e meu pai (Edson Amaral) que me ensinaram, desde muito cedo, a importância dos estudos. Agradeço ao meu pai por ter feito parte de toda minha vida escolar e acadêmica, me dando todo apoio moral e financeiro, para que eu pudesse conseguir chegar até aqui. Pai, sem sua ajuda eu jamais teria conseguido, serei grata a você enquanto vida eu tiver.

Aos meus irmãos Edson Filho e Henrique e a minha cunhada Viviane, por sempre acreditarem na minha capacidade, inclusive durante às vezes em que até eu mesmo dela duvidava.

Ao meu esposo Wemerson e a meus filhos Gustavo, Gabriel e Ana Laura, agradeço por toda paciência, parceria e principalmente pela compreensão das inúmeras ausências. Vocês são a razão de todo meu esforço e dedicação.

À minha orientadora Dr^a Alessandra Monteiro de Paula, por toda dedicação, incentivo, compartilhamento dos ensinamentos que levarei por toda vida, paciência e por todos os atendimentos em horários inadequados. Muito obrigada por tudo. Saiba que essa vitória é nossa.

A todos os professores da pós-graduação em agronomia, pela dedicação e pelos conhecimentos transmitidos.

Aos anjos do Laboratório de Microbiologia dos Solos e aos amantes da “ciência”, Thauany, Stefany, Lemerson, Marcos, Alberto, Luana, Lorraine, Mariana, Letícia, Giovanna, Tercius, Gabriel, Leonardo, Alessandro e Valdênio RIBEIRO a tantos outros que me deram suporte para conseguir realizar a instalação do meu experimento, coletas de solos, coletas dos invertebrados epigeos e na realização das análises da melhor forma possível.

A todos que me ajudaram na busca pelas garrafas pets, em especial tia Vaninha, Ana, Marcinha, dona Eva e Graciella.

À colega de pós-graduação em agronomia e do INSTITUTO BRASÍLIA AMBIENTAL Heloísa do Espírito Santo por me incentivar e estar sempre disponível a me ajudar.

Aos colegas do INSTITUTO BRASÍLIA AMBIENTAL (Antônio Barreto, Charles e Roger), em especial a equipe de Licenciamento de Empreendimentos Rurais (Cristiano, Raphael, Marcelo, Luis Fernando, Wilde e Jales) que me apoiaram e sempre estiveram disponíveis a me ajudar durante a jornada deste mestrado, que não foi nada fácil.

Muito Obrigada!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. ÁREAS DEGRADADAS E OS IMPACTOS DA RETIRADA DA CAMADA SUPERFICIAL DO SOLO	3
2.2. MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO: DEFINIÇÃO E IMPORTÂNCIA PARA A RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS	5
2.3. O USO DE LODO DE ESGOTO TRATADO E DE RESÍDUOS DE RESÍDUOS DE PODA DE ÁRVORES NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS	7
2.4. IMPORTÂNCIA DOS INVERTEBRADOS EPÍGEOS	13
2.5. INVERTEBRADOS EPÍGEOS COMO BIOINDICADORES NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS.....	17
2.6. MÉTODOS UTILIZADOS PARA O ESTUDO DE INVERTEBRADOS EPÍGEOS	18
3. HIPÓTESES E OBJETIVOS	20
3.1. HIPÓTESES	20
3.2. OBJETIVOS	20
3.2.1. Objetivo geral	20
3.2.2. Objetivos específicos	20
4. MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	21
4.1.1. Histórico da área	23
4.1.2. Delineamento experimental	27
4.2. AVALIAÇÃO DOS INVERTEBRADOS EPÍGEOS	28
4.2.1. Caracterização e instalação das armadilhas	28
4.2.2. Época de coleta	29
4.2.3. Armazenamento das amostras	30
4.2.4. Identificação, classificação e avaliação dos invertebrados epígeos	30
4.3. DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS DO SOLO	31
4.3.1. Procedimentos analíticos	32
4.4. COLETA E DETERMINAÇÃO DA SERAPILHEIRA	32

4.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	33
4.5.1. Análises univariadas	33
4.5.2. Análises multivariadas	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1. INVERTEBRADOS EPÍGEOS	35
5.2. PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA E PARÂMETROS DO SOLO	41
5.2.1. Serapilheira	41
5.2.2. Carbono orgânico total (COT)	43
5.2.3. Carbono da biomassa microbiana (CBM)	45
5.2.4. pH do solo	46
5.2.5. Acidez potencial do solo (H+AL)	47
5.2.6. Teores de Potássio, Magnésio e Fósforo	48
5.3. RELAÇÃO ENTRE INVERTEBRADOS EPÍGEOS E OS ATRIBUTOS DO SOLO	52
6. CONCLUSÃO	57
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Concentração máxima permitida de substâncias inorgânicas em lodo de esgoto.
- Tabela 2.** Concentração máxima permitida de agentes patogênicos em classes de lodo de esgoto.
- Tabela 3.** Composição dos lodos de esgotos, produzidos nas ETEB's Norte e Sul do Distrito Federal, quanto às substâncias inorgânicas, expressos em base seca.
- Tabela 4.** Caracterização do LE produzido nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) Brasília Norte e Sul.
- Tabela 5.** Características químicas do substrato antes do estabelecimento do experimento (fevereiro de 2014).
- Tabela 6.** Composição química dos resíduos de poda de árvores utilizados nos tratamentos avaliados.
- Tabela 7.** Composição química do lodo de esgoto utilizado nos tratamentos (expressos em base seca).
- Tabela 8.** Relação das espécies arbóreas utilizadas na implantação do experimento.
- Tabela 9.** Número total de indivíduos invertebrados epígeos capturados na área degradada (L0P0), em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março de 2016) e no período seco (julho de 2016), em Brasília, DF.
- Tabela 10.** Índices ecológicos dos invertebrados epígeos avaliados por armadilhas de queda, presentes em área degradada (L0P0), em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março/2016) e no período seco (julho/2016), em Brasília, DF.
- Tabela 11.** Serapilheira (mg m^{-2}) presente em área degradada (L0P0), em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março/2016) e no período seco (julho de 2016), em Brasília, DF.
- Tabela 12.** Carbono orgânico total (g kg^{-1}) presente em área degradada (L0P0), em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março/2016) e no período seco (julho de 2016), em Brasília, DF.
- Tabela 13.** Carbono da biomassa microbiana (mg N kg^{-1}) presente em área degradada (L0P0), em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março/2016) e no período seco (julho de 2016), em Brasília, DF.
- Tabela 14.** pH do solo em área degradada (L0P0), e em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março/2016) e no período seco (julho de 2016), em Brasília, DF.
- Tabela 15.** Acidez potencial do solo em área degradada (L0P0), e em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março/2016) e no período seco (julho de 2016), em Brasília, DF.
- Tabela 16.** Potássio trocável presente em área degradada (L0P0) e em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março/2016) e no período seco (julho de 2016), em Brasília, DF.
- Tabela 17.** Magnésio trocável presente em área degradada (L0P0) e em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março/2016) e no período seco (julho de 2016), em Brasília, DF.
- Tabela 18.** Teor de Fósforo presente em área degradada (L0P0), e em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março/2016) e no período seco (julho de 2016), em Brasília, DF.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área objeto de estudo.

Figura 2. Precipitação total (barras) e temperaturas médias (linha) em Brasília, no ano de 2016

Figura 3. Preparo das parcelas experimentais. Deposição e incorporação dos resíduos de poda e do lodo de esgoto, caleação e plantio de mudas de espécies arbóreas nativas do Cerrado na área experimental (fevereiro-março de 2014).

Figura 4. Disposição dos blocos (60 m x 15 m – cada um) e das parcelas (20 m x 5 m – cada uma) na área experimental. 4.a Área objeto do estudo. 4.b Representação esquemática de um dos blocos casualizados contendo os oito tratamentos (T1-T8) e o controle (T0). 4.c Representação esquemática dos blocos e das parcelas da área experimental contendo os tratamentos utilizados.

Figura 5. Disposição das armadilhas ao longo das parcelas experimentais e na área do Cerrado (março/2016). 5.a Modelo de uma das armadilhas instalada na área experimental (março/2016). 5.b Disposição das armadilhas instaladas em uma das parcelas (março/2016).

Figura 6. Armadilhas de queda do tipo “pitfall”, feitas de garrafas pet (2 litros cortada ao meio) e pote plástico (500 ml). 6.a Materiais utilizados para a confecção das armadilhas de queda na área experimental (março e julho/2016). 6.b Pote plástico (500 ml) inserido dentro da garrafa pet (2 litros) cortada ao meio. 6.c Garrafa pet (2 litros) cortada ao meio contendo pote plástico (500 ml) e funil.

Figura 7. Precipitação total (barras) e temperaturas médias (linha) referentes ao ano de 2016, no Distrito Federal, e respectivos meses (final de março e início de julho) nos quais foram realizadas as coletas de solo, serapilheira e invertebrados epígeos na área experimental (setas).

Figura 8. Número total dos invertebrados epígeos, por grupo taxonômico capturados na área degradada (LOP0), em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março/2016) e no período seco (julho de 2016), em Brasília, DF.

Figura 9. Frequência relativa, por grupo taxonômico, dos invertebrados epígeos capturados na área degradada (LOP0), em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março/2016) e no período seco (julho de 2016), em Brasília, DF.

Figura 10. Análise de componentes principais dos grupos de invertebrados epígeos do solo, avaliados por armadilhas de fuga instaladas em área degradada, em processo de recuperação, no período chuvoso (março de 2016), em Brasília, DF. (species = grupos taxonômicos de invertebrados epígeos: Araneae, Blattaria, Coleoptera, Dermaptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Isoptera, Lepidoptera, Orthoptera, Thysanura, Diplopoda, Stylommatophora, Densidade de indivíduos, Riqueza de grupos; env. Variables = carbono orgânico total-COT, carbono da biomassa microbiana-CBM, respiração basal-RESP, liteira-LIT, potássio trocável-K, fósforo disponível-P, alumínio trocável-Al).

Figura 11. Análise de componentes principais dos grupos de invertebrados epígeos do solo, avaliados por armadilhas de fuga instaladas em área degradada, em processo de recuperação, no período seco (junho de 2016), em Brasília, DF. (species = grupos taxonômicos de invertebrados epígeos: *Araneae*, *Blattaria*, *Coleoptera*, *Dermaptera*, *Diptera*, *Hemiptera*, *Hymenoptera*, *Isoptera*, *Lepidoptera*, *Orthoptera*, *Thysanura*, *Diplopoda*, *Stylommatophora*, Densidade de indivíduos, Riqueza de grupos; env. Variables = carbono orgânico total-COT, carbono da biomassa microbiana-CBM, respiração basal-RESP, liteira-LIT, potássio trocável-K, fósforo disponível-P).

RESUMO

A reutilização dos resíduos orgânicos provenientes do lodo de esgoto e da poda de árvores para recuperação de solos degradados é uma estratégia de baixo custo e de grande apelo ambiental, pois, servirão como fonte de carbono e de nutrientes minerais tanto para as plantas que serão introduzidas na área a ser recuperada quanto para outros organismos do solo. Ao introduzir vegetação em área degradada, ocorre deposição de matéria orgânica no solo, seja por meio da rizodeposição, da queda de folhas ou pela decomposição de outros resíduos vegetais. A serapilheira formada cria um habitat favorável para a ocorrência da comunidade microbiana heterotrófica e da fauna do solo (CUNHA *et al.*, 1993). Monitorar os invertebrados epígeos em áreas sob processo de recuperação é estratégico, uma vez que esses organismos reagem às várias intervenções antrópicas no ambiente, atuando como indicadores biológicos da qualidade do solo (LAVELLE *et al.*, 2006). O objetivo deste trabalho consistiu em avaliar a influência do uso de matéria orgânica na forma de lodo de esgoto e resíduos de poda de árvores na recuperação de uma área degradada localizada em Brasília/DF, especificamente através do estudo da diversidade e abundância de invertebrados epígeos, e das variáveis ambientais (químicas ou bioquímicas) que melhor explicam a distribuição da comunidade destes organismos. A área experimental situa-se ao norte da rodovia DF-087 (Via Estrutural) e a oeste da rodovia DF-003 (EPIA). O delineamento experimental consistiu de um fatorial completo, com dois fatores (lodo de esgoto e resíduo de poda) em três níveis de dosagens (lodo: 0, 270 e 1080 m³ ha⁻¹; poda: 0, 122,5 e 245 Mg ha⁻¹), com 3 repetições, em blocos ao acaso, totalizando 27 parcelas, sendo cada uma de 100 m², onde foram plantadas 60 mudas de 10 diferentes espécies arbóreas nativas do cerrado (6 mudas/espécie) em distância de 2 m x 1 m. Para amostragem dos invertebrados epígeos utilizou-se o método de “Pitfall traps”, com 4 armadilhas/parcela durante o período chuvoso (março/2016) e o período seco (julho/2016), por 07 dias. Estas consistiram de garrafas pets de 2 litros, cortadas ao meio, contendo recipiente plástico transparente de 500 ml, com 250 ml de solução de álcool 50%. As armadilhas foram enterradas ao nível do solo, de forma a facilitar a captura dos invertebrados epígeos. A avaliação desses organismos foi realizada determinando-se o número de indivíduos com base na composição taxonômica (agrupada por ordem) (%), e o número total de indivíduos capturados por armadilha, por período de coleta e por tratamento na área experimental. Para a avaliação do comportamento ecológico dos invertebrados epígeos calculou-se a riqueza da fauna identificada (número de grupos) e a densidade. Fez-se a avaliação do número total de grupos taxonômicos presentes através dos índices de diversidade de Shannon, dominância de Simpson e uniformidade de Pielou. Em conjunto avaliou-se a serapilheira. As variáveis ambientais (atributos químicos e bioquímicos do solo) foram analisadas através de amostras de solos coletadas a uma profundidade de 0 a 10 cm. Por meio de métodos estatísticos multivariáveis buscou-se verificar a relação entre as variáveis ambientais e as variáveis respostas (grupos taxonômicos encontrados na área de estudo). A aplicação combinada de doses de lodo de esgoto e resíduos de poda de árvores, após 25 meses de instalação do experimento, promoveu melhoras nos atributos químicos e biológicos do solo degradado em processo de recuperação, favorecendo a produção de serapilheira e estimulando o aumento da diversidade, densidade e riqueza dos grupos taxonômicos dos invertebrados epígeos do solo, para as duas épocas avaliadas. O período chuvoso e seco não influenciou no número total de indivíduos capturados pelas armadilhas de queda. Houve a predominância de Hymenoptera (58,7% e 85,1%) e Coleoptera (11,2% e 7,2%), no período chuvoso e seco, respectivamente, tornando-se uma característica notável de todos os tratamentos, sendo que a abundância destes grupos provavelmente está associada a introdução de serapilheira (por meio das espécies arbóreas existentes no local). A baixa ocorrência de predadores como Araneae e Scorpiones, indica que a cadeia trófica de organismos do solo ainda está em formação na área em recuperação. O período de 25 meses se mostrou insuficiente na promoção de mudanças relevantes na dinâmica da comunidade de invertebrados

epígeos, o que enfatiza a necessidade de monitoramento contínuo destes organismos na área estudada.

Palavras-chaves: Lodo de esgoto, resíduos de poda de árvores, serapilheira e invertebrados epígeos.

ABSTRACT

The reuse of organic waste from sewage sludge and pruning of trees for the recovery of degraded soils is a strategy of low cost and great environmental appeal, as they will serve as a source of carbon and mineral nutrients both for the plants that will be introduced in the area to be recovered as for other soil organisms. When introducing vegetation in a degraded area, deposition of organic matter occurs in the soil, either by means of rhizodeposition, leaf fall or by the decomposition of other plant residues. The litter formed creates a favorable habitat for the occurrence of the heterotrophic microbial community and the soil fauna (CUNHA et al., 1993). In order to evaluate the effects of soil erosion on soil quality, it is important to note that these organisms have been found to be responsible for the conservation of these ecosystems (LAVELLE et al., 2006). The objective of this work was to evaluate the influence of the use of organic matter in the form of sewage sludge and tree pruning residues in the recovery of a degraded area located in Brasilia, specifically through the study of the diversity and abundance of epigeal invertebrates, and the environmental variables (chemical or biochemical) that best explain the distribution of the community of these organisms. The experimental area is located north of the DF-087 (Via Estrutural) and west of the DF-003 (EPIA) highway. The experimental design consisted of a complete factorial, with two factors (sewage sludge and pruning residue) at three dosing levels (sludge: 0, 270 and 1080 m³ ha⁻¹, pruning: 0, 122.5 and 245 Mg ha⁻¹), with 3 replications, in randomized blocks, totaling 27 plots, each of 100 m², where 60 seedlings of 10 different native species of the cerrado (6 seedlings / species) were planted in a distance of 2 m x 1 m. For the sampling of the epigeal invertebrates, the Pitfall traps method was used, with 4 traps during the rainy season (March 2016) and dry period (July 2016) for 7 days. These consisted of 2-liter, half-cut, pet bottles containing 500 ml clear plastic container with 250 ml of 50% alcohol solution. The traps were buried at ground level in order to facilitate the capture of the epigeal invertebrates. The evaluation of these organisms was performed by determining the number of individuals based on the taxonomic composition (grouped in order) (%), and the total number of individuals trapped per collection period and by treatment in the experimental area. In order to evaluate the ecological behavior of epigeal invertebrates, the richness of the identified fauna (number of groups) and density were calculated. The total number of taxonomic groups present was evaluated through the Shannon diversity indexes, Simpson dominance and Pielou uniformity. At the same time the litter was evaluated. The environmental variables (chemical and biochemical attributes of the soil) were analyzed through soil samples collected at a depth of 0 to 10 cm. By means of multivariate statistical methods, we sought to verify the relationship between the environmental variables and the response variables (taxonomic groups found in the study area). The combined application of sewage sludge doses and tree pruning residues, after 25 months of installation of the experiment, promoted improvements in the chemical and biological attributes of the degraded soil in recovery process, favoring litter production and stimulating the increase of diversity, Density and richness of the epigeal invertebrate groups of the soil for the two evaluated periods. The rainy and dry period did not influence the total number of individuals caught in the fall traps. There was a predominance of Hymenoptera (58.7% and 85.1%) and Coleoptera (11.2% and 7.2%) in the rainy and dry periods, respectively, becoming a notable feature of all treatments. The abundance of these groups is probably associated with the introduction of litter (through existing tree species). The low occurrence of predators such as Araneae and Scorpiones indicates that the trophic chain of soil organisms is still forming in the recovering area. The period of 25 months was insufficient to promote relevant changes in the dynamics of the epigeal invertebrate community, which emphasizes the need for continuous monitoring of these organisms in the studied area.

Keywords: Sewage sludge, tree pruning waste, litter and epigeal invertebrates.

1. INTRODUÇÃO

Área degradada é aquela que foi manejada incorretamente, tendo sua produtividade diminuída em função do dano a que foi submetido, dentre outros fatores, pela remoção da cobertura do solo ou pela perda do seu horizonte superficial, provocados pela erosão ou mineração (CORRÊA, 2009), o que impede a recuperação natural destes solos, exigindo, assim, a intervenção do homem para que a sua recuperação ocorra.

A remoção da cobertura do solo ou a perda do seu horizonte superficial acarreta a compactação da camada exposta; redução dos teores de matéria orgânica na camada remanescente; da capacidade de retenção e de infiltração de água e de concentração de nutrientes nos horizontes expostos, não permitindo ou reduzindo a possibilidade da revegetação natural dos mesmos (CORRÊA; MELO FILHO, 2004).

As áreas degradadas podem ser recuperadas, porém o êxito na recuperação de uma área degradada depende da melhoria da qualidade do solo (BARETTA et al., 2011), que pode ser viabilizada por meio do acréscimo de matéria orgânica, o que proporcionará melhorias químicas, físicas e biológicas nesse ambiente, tornando essas áreas mais propensas à revegetação (CORRÊA, 2009). O acréscimo de matéria orgânica em substratos minerados, dentre outras formas, pode se dá por meio da adição de resíduos como lodo de esgoto estabilizado (LE), provenientes de águas residuais tratadas (COLODORO et al., 2006; KITAMURA et al., 2008; CORRÊA et al., 2010) e por meio de resíduos de poda de árvores triturados e restos de capinas (FRAGA, 2016).

O LE é um produto rico em matéria orgânica e nutrientes, em especial o nitrogênio (N) e o fósforo (P), e o seu uso como adubo orgânico na recuperação de solos degradados é uma das principais alternativas para a disposição final deste resíduo (BETTIOL e CAMARGO, 2006; LEMAINSKI et al., 2006; GODOI, 2008). Pesquisas têm demonstrado que esse resíduo, desde que atendidas às exigências ambientais, pode ser utilizado como incrementador de matéria orgânica em áreas degradadas, servindo como substrato para a vegetação que será instalada no local (SILVÉRIO, 2004). Porém, para apresentar benefícios às condições químicas e biológicas do solo, e atuar nas condições físicas do mesmo, é necessário que seja utilizado em altas doses (LARA et al., 2001; BEZERRA et al., 2006). É um resíduo que não possui características que o tornam capaz de ser compostado sozinho havendo a necessidade de misturá-lo com um resíduo estruturante, a fim de absorver o seu excesso de umidade e equilibrar a relação C/N da mistura (PROGRAMA DE SANEAMENTO BÁSICO, 2006). Esses resíduos estruturantes podem ser os resíduos de poda de árvores, já que apresentam granulometria mais grossa, sendo capazes de absorver o excesso de

umidade do lodo, além de servirem como fonte de carbono, lignina e celulose, aos organismos edáficos (CARAMELO, 2014).

Segundo CORRÊA (2009), a revegetação do substrato minerado é uma das medidas capazes de recuperar áreas degradadas. Ao se instalar a vegetação em uma área degradada começa a se formar a serapilheira, iniciando a deposição de matéria orgânica no solo, seja pela rizodeposição, pelos restos culturais, ou pela queda das folhas, flores, frutos, galhos, sementes (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). A serapilheira, além de conter grandes quantidades de carbono, nutrientes e energia, necessários ao desenvolvimento da vegetação instalada na área a ser recuperada, ainda se constitui em um habitat propício a ocorrência da comunidade microbiana heterotrófica e da fauna do solo (micro, meso e macrofauna) (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Segundo TOPP et al. (2001), a fauna do solo melhora significativamente as propriedades físicas e químicas do solo em áreas submetidas a processos de recuperação, e foi evidenciado por BARETTA et al. (2011), que o aumento da diversidade da fauna e o re-estabelecimento da cadeia trófica podem ser indicativo de que o ecossistema vem se mantendo em equilíbrio e se auto-sustentando.

A macrofauna do solo, que neste trabalho a denominaremos de invertebrados epígeos, é constituída pelos organismos maiores que 2 mm de diâmetro corporal, que podem ser vistos a olho nú, e são responsáveis pelos processos de decomposição da matéria orgânica do solo, ciclagem de nutrientes e de energia, produção de complexos que causam agregação do solo e abertura de galerias, que são de fundamental importância para a manutenção da produtividade do ecossistema (CORREIA, 2002). Podem ter sua população afetada pela qualidade, pela quantidade da serapilheira, especialmente em ambientes tropicais, e, pelas alterações de ordem biológicas, físicas e químicas ocorridas no solo (BARETTA et al., (2011). Isso ocorre porque os invertebrados epígeos respondem às diversas intervenções antrópicas realizadas no meio ambiente (LAVELLE e SPAIN, 2001), constituindo-se em elementos importantes como indicadores biológicos em áreas degradadas ou em processo de recuperação, servindo para monitorar a qualidade do solo (BARETTA et al., 2011).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do uso da matéria orgânica na forma de lodo de esgoto tratado e resíduos de poda de árvores na recuperação de uma área degradada considerando a comunidade de invertebrados epígeos e fomentar conhecimentos para tomada de decisões e monitoramento de ações e práticas de recuperação de áreas degradadas em processos de recuperação, em áreas de Cerrado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Áreas degradadas e os impactos da retirada da camada superficial do solo

A ação do homem sobre o meio ambiente pode trazer consequências prejudiciais aos recursos naturais do planeta. De acordo com BARETTA et al. (2011), dentre algumas das atividades antrópicas que mais impactam o meio ambiente, causando danos nos recursos edáficos, hídricos, na fauna e na flora, estão: desmatamento, obras de construção civil, mineração, deposição de rejeitos, contaminação, salinização, compactação, agricultura, pecuária, indústrias e os processos naturais (erosão do solo, inundações, fogo, deslizamento de terras e outros).

O conceito de degradação tem sido geralmente associado a efeitos negativos decorrentes dessas atividades, logo, área degradada pode ser conceituada como aquela que foi manejada incorretamente, tendo sua produtividade diminuída em função do dano a que foi submetida, dentre outros fatores, pela remoção da cobertura do solo ou pela perda do horizonte superficial, provocados pela erosão ou mineração (CORRÊA, 2009), o que impede a recuperação natural destes solos. Isso faz com que o solo reduza a capacidade de sustentar a vida dos organismos que nele habitam, bem como dos serviços ambientais prestados em decorrência da perda de sua qualidade como habitat, pois, há alterações dos seus atributos físicos, químicos e biológicos, que são influenciados pelo teor de matéria orgânica existente no solo (SIQUEIRA et al., 2008). Assim, para que essas áreas degradadas sejam recuperadas torna-se necessária a intervenção do homem.

Dentre as atividades acima descritas, a de mineração se destaca quanto ao potencial de degradação do solo, e os seus efeitos no meio ambiente são drásticos, devido à movimentação profunda das camadas do solo, retirada da vegetação e alteração do regime de escoamento da água, o que acarreta no solo problemas de ordem física, química e biológica (REIS, 2006).

O Brasil possui extensas áreas degradadas e com diferentes níveis de degradação, indo desde uma perda temporária da capacidade regenerativa de ecossistemas florestais por efeito de incêndios ou outras causas naturais, até a completa remoção dos horizontes férteis do solo e geração de substratos de difícil colonização, como é o caso das atividades de mineração (REIS, 2006). Um tipo de área minerada muito comum em áreas urbanas são as chamadas “áreas de empréstimo” (NOFFS et al., 2011), que resultam da retirada de horizontes superficiais do solo para utilização em aterros

e/ou na pavimentação e são caracterizadas pela remoção total da cobertura vegetal para retirada do subsolo (ALVES e SOUZA, 2008).

A formação de áreas de empréstimo ocorreram na construção da capital federal do Brasil – Brasília, deixando dezenas de hectares expostos, em decorrência dos desmatamentos e retiradas de terra e cascalho para usos diversos na construção civil em vários pontos do Distrito Federal, o que provocou compactação da camada exposta, redução dos teores de matéria orgânica na camada remanescente, além de baixa capacidade de retenção de água e de concentração de nutrientes nos horizontes expostos, o que não permitiu a revegetação natural deste locais (CORRÊA e MELO FILHO, 2004). As áreas de empréstimo do Distrito Federal constituem-se em um ecossistema degradado, pois foram eliminados, juntamente com a vegetação e o solo, os seus meios de regeneração bióticos como o banco de sementes, banco de plântulas, sementes e rebrota. Estas áreas apresentam baixa resiliência, isto é, seu retorno ao estado anterior pode não ocorrer ou ser extremamente lento (OLIVEIRA, 2015). QUEIROZ JR. (2010), diz que em locais minerados no Cerrado o processo de sucessão ecológica é muito lento tornando-se necessário a intervenção humana nesse local.

Uma área degradada pode ter o ambiente recuperado ou restaurado, onde o seu ecossistema ou população silvestre degradada são restituídos a condições diferentes ou o mais próximo possível da sua condição original, ou seja, para uma condição não degradada (BRASIL, 2000), porém o êxito na recuperação de uma área degradada depende da melhoria da qualidade do solo (BARETTA et al., 2011).

Segundo CORRÊA (2009), a revegetação do substrato minerado é uma das medidas capazes de recuperar áreas degradadas, porém, é necessário criar condições favoráveis para que esse substrato seja capaz de receber plantas, o que pode ser viabilizado por meio do acréscimo de matéria orgânica nesses solos, o que proporcionará melhorias químicas, físicas e biológicas nesse ambiente, tornando essas áreas mais propensas à revegetação. Segundo TOPP et al. (2001), em seus estudos relataram que a fauna do solo melhora significativamente as propriedades físicas e químicas do solo em áreas submetidas a processos de recuperação, e foi evidenciado por BARETTA et al. (2011), que o aumento da diversidade da fauna e o re-estabelecimento da cadeia trófica podem ser indicativo de que o ecossistema vem se mantendo em equilíbrio e se auto-sustentando.

REIS (2006) afirma que a remoção ou perda por erosão do horizonte superficial do solo, juntamente com a matéria orgânica e nutrientes, limita a produção de biomassa vegetal e,

consequentemente, a produção de serapilheira, que por sua vez para atuar benéficamente sobre o solo e ser capaz de sustentar a cobertura vegetal, depende da capacidade produtiva do solo. Estudos mostram que áreas degradadas tratadas com uma camada superficial de matéria orgânica tiveram a qualidade do solo aumentada, ocasionada principalmente pelas melhorias das condições para o estabelecimento da fauna do solo e sua atividade (TOPP et al., 2001).

2.2 Matéria orgânica do solo: definição e importância para a recuperação de áreas degradadas

Define-se como matéria orgânica do solo (MOS) todo material orgânico depositado no solo na forma de resíduos vegetais, fração leve, biomassa microbiana, meso e macrofauna, substâncias orgânicas solúveis e matéria orgânica estabilizada (substâncias húmicas), associada ou não à fração mineral (RIBEIRO, 2016). A MOS compreende compostos orgânicos presentes em componentes vivos (raízes de plantas e organismos do solo) e não vivos do solo (PRIMO et al., 2011). Em média, 58% da matéria orgânica total é composta, principalmente, por carbono orgânico, que é proveniente, principalmente, da biomassa vegetal, constituintes solúveis das plantas e exsudados de raízes (RIBEIRO, 2016).

A MOS apresenta vários efeitos benéficos sobre os solos e substratos degradados, tais como: capacidade de agregação das partículas do solo (isso reduz a densidade e aumenta a porosidade, as capacidades de troca catiônica, de infiltração e de retenção de água), alteração na dinâmica de mineralização e de liberação de nutrientes, evitando principalmente a imobilização de nitrogênio (N), aumento nos estoques e no retorno de nutrientes ao solo (bem como do carbono - C), aumento da capacidade tampão para pH, bioatividade de substâncias húmicas e formação de quelatos – favorecendo a absorção de micronutrientes pelas plantas (CORRÊA, 2009). A MOS proporciona um ambiente mais adequado ao estabelecimento e à atividade da microbiota do solo (FIGUEIREDO et al., 2008), além de exercer efeito nas propriedades químicas do solo, ser fonte de C, N, P e S para o crescimento das plantas e de ter capacidade de complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes (RIBEIRO, 2016).

Os solos tropicais minerais e bem drenados possuem de 2 a 6% de sua massa entre 0 e 20 cm de profundidade constituída de matéria orgânica (BRADY, 1989), e apesar do pequeno volume é vital para que o solo funcione, pois, pelo fato dela fornecer energia e substratos permite a

diversidade biológica dos organismos do solo, mantendo assim, a qualidade deste e a funcionalidade dos ecossistemas (WENDLING et al., 2010).

Já os substratos minerados apresentam teores de MOS abaixo de 1%, e ao promover a elevação dos teores de MOS desses substratos a níveis adequados, conseqüentemente haverá melhorias no solo dos fatores químicos, físicos e biológicos, que tornarão a área degradada mais propensa à revegetação (CORRÊA, 2009).

A vegetação é a principal fonte responsável pela deposição de MOS, seja pela queda das folhas ou pelos restos culturais, que formarão a serapilheira, ou ainda pela rizodeposição no solo próximo às raízes (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Segundo esses mesmos autores, a serapilheira além de conter grandes quantidades de carbono, nutrientes e energia, necessárias ao desenvolvimento da vegetação que se instalará na área a ser recuperada, ainda se constitui num habitat onde ocorre abundante fauna do solo (micro, meso e macrofauna) e comunidade microbiana heterotrófica. A fauna do solo está intimamente associada aos processos de decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e de energia, produção de complexos que causam agregação do solo e abertura de galerias, que são de fundamental importância para a manutenção da produtividade do ecossistema (CORREIA, 2002). A qualidade e a quantidade da serapilheira, especialmente em ambientes tropicais, podem afetar as populações da macrofauna do solo resultando em uma mobilização diferencial dos nutrientes, afetando a ciclagem de nutrientes e a fertilidade dos solos (WARREN; ZOU, 2002).

Em ambientes degradados, a adição de MOS via deposição de serapilheira pela cobertura vegetal da área não é suficiente para suprir a demanda necessária para garantir a ciclagem de nutrientes e água e o funcionamento do ecossistema (CORRÊA et al., 2010). Em vista disso, fontes alternativas de MOS têm sido testadas visando melhorar as propriedades do solo, desde as mais conhecidas e utilizadas como os esterco e a adubação verde até resíduos orgânicos e o lodo de esgoto e resíduos de poda de árvores de regiões urbanas, menos utilizados por falta ainda de estudos que viabilizem sua utilização (KITAMURA et al., 2008; QUEIROZ JR., 2010; SAMPAIO et al., 2012; BONINI et al., 2015; OLIVEIRA, 2015; FRAGA, 2016).

2.3 O uso de lodo de esgoto tratado e de resíduos de poda de árvores na recuperação de áreas degradadas

O lodo proveniente da estação de tratamento de águas servidas, denominadas de esgoto, é um resíduo rico em matéria orgânica. É formado nos decantadores das estações de tratamento de água (ETA), sendo resultado dos processos de floculação e coagulação (TEIXEIRA et al., 2005). O lodo de esgoto tratado (LE), apresentando características que permitem a sua aplicação no solo de forma benéfica e segura, recebe o nome de lodo de esgoto (CONAM, 2006).

É um resíduo de produção crescente no Brasil (QUEIROZ JR., 2010), já que a implantação de estações de tratamento de esgotos nos municípios brasileiros tem ampliado em muito o volume de lodo gerado, causando grande preocupação com relação à sua disposição final (LEMAINSKI e SILVA, 2006). No Distrito Federal, a produção atual de lodo de esgoto é de aproximadamente 400 Mg dia⁻¹ (CAESB, 2015).

Sua disposição inadequada pode trazer sérios problemas à saúde pública e ao meio ambiente (CHEN et al., 2015), por ser atrativo de vetores e por apresentar em sua composição diversos poluentes, como: metais pesados (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Fe, Co, Mn, Mo, Hg, Sn e Zn), compostos orgânicos persistentes e organismos patogênicos ao homem (BETTIOL e CAMARGO, 2000), representando, portanto, riscos diretos ou indiretos à saúde humana e animal quando utilizados na agricultura para produção de alimentos (SIMONETE et al., 2003). Isso tem levado pesquisadores de diversas áreas do conhecimento a desenvolverem técnicas visando sua utilização adequada, pois, apesar dos seus riscos, se trata de um resíduo que constitui fonte de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas, contendo em sua composição altos teores de N e P, que são elementos essenciais na sobrevivência da biodiversidade do solo (OLIVEIRA, 2015), com possibilidades de uso na agricultura, sivilcultura e recuperação de áreas degradadas, trazendo o benefício da reciclagem da matéria orgânica e de nutrientes, em especial o nitrogênio, pelo seu valor econômico (GODOI, 2008; NASCIMENTO et al., 2011). Logo, o uso do lodo de esgoto como adubo orgânico na recuperação de solos degradados é considerado hoje como a alternativa mais promissora de disposição final desse resíduo, sendo recomendada sua aplicação como condicionador ou fertilizante dos solos (por ser rico em matéria orgânica e em macro e micronutrientes) podendo substituir total ou parcialmente o uso de fertilizantes minerais, principalmente os nitrogenados (BETTIOL e CAMARGO, 2006).

Levando em consideração os fatores acima expostos, o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário, foi regulamentado, no Brasil, por meio da Resolução Conama nº 375, de 29 de julho de 2006, e no Distrito Federal por meio da Resolução Conam nº 003/06. Essas normas regulam o reaproveitamento agrícola do lodo (exceto em culturas olerícolas, de tubérculos, raízes ou inundadas) de acordo com a presença de metais pesados e de patógenos (CONAM, 2006). A fim de atender às exigências destas Resoluções, o uso do lodo de esgoto, para fins agrícolas, devem respeitar os limites máximos de concentração, conforme tabelas abaixo:

Tabela 1. Concentração máxima permitida de substâncias inorgânicas em lodo de esgoto.

Substâncias Inorgânicas	Concentração Máxima permitida (mg.kg ⁻¹ , base seca)	
	Resolução Conama nº 375/2006	Resolução Conam nº 03/2006
Arsênio	41	20
Bário	1300	650
Cádmio	39	13
Chumbo	300	1000
Cobre	1500	250
Cromo	1000	500
Mercúrio	17	4
Molibdênio	50	25
Níquel	420	210
Selênio	100	8
Zinco	2800	2000

Fonte: Resoluções Conama nº 375/2006 e Conam nº 03/2006.

Tabela 2. Concentração máxima permitida de agentes patogênicos em classes de lodo de esgoto.

Classes	Concentração de patógenos	
	Resolução Conama nº 375/2006	Resolução Conam nº 03/2006
A	Coliformes Termotolerantes <10 ³ NMP / g de ST	10 ³ NMP/g de matéria seca
	Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo / g de ST	menor que 1 ovo a cada 4 g de matéria seca
	<i>Salmonella</i> ausência em 10 g de ST	ausência em 10 g de matéria seca
	Vírus < 0,25 UFP ou UFF / g de ST	menor que 1 UFP ou UFF por 4 g de matéria seca
A	-----	Cistos viáveis de protozoários menor que 1 a cada 4 g de matéria seca
B	Coliformes Termotolerantes <10 ⁶ NMP / g de ST	2x10 ⁶ NMP/g de matéria seca
	Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos / g de ST	-----

Fonte: Resoluções CONAMA nº 375/ 2006 e CONAM nº 03/2006. ST: Sólidos Totais; NMP: Número Mais Provável; UFF: Unidade Formadora de Foco; UFP: Unidade Formadora de Placa.

Para que os lodos gerados em sistemas de tratamento de esgoto possam ser utilizados na agricultura precisam ser submetidos a processo de redução de patógenos e da atratividade de vetores (CONAMA, 2006), e quando atendidas as exigências ambientais quanto aos patógenos e metais

pesados, o LE pode ser utilizado na agricultura como alternativa à sua destinação final, reduzindo a poluição das águas e do solo, oferecendo vantagens à qualidade de vida da sociedade, reduzindo impactos ambientais e preservando o ambiente como um todo (SILVÉRIO, 2004).

Dependendo do destino final, após os tratamentos (preliminar, primário e secundário) o lodo deve passar pelos seguintes processos: adensamento, desaguamento, estabilização e higienização. Os dois primeiros, adensamento e o desaguamento, visam principalmente à redução do volume, da umidade e da carga orgânica do lodo, (CAESB, 2013). A estabilização do lodo tem por finalidade reduzir a quantidade de patógenos, eliminar os maus odores e inibir, reduzir ou eliminar o potencial de decomposição. Visa à remoção da matéria orgânica do lodo e estabilização da matéria orgânica biodegradável. O último processo, a higienização, busca garantir um nível de patogenicidade que, ao ser disposto no solo, o lodo não cause riscos à população nem ao meio ambiente. A caleação é um dos processos de higienização e consiste em misturar cal virgem (CaO) ao lodo, visando diminuir o seu cheiro característico e promover o aumento do pH numa reação exotérmica que inativa até 90% dos organismos patogênicos e acelera o processo de evaporação, podendo atingir temperaturas de até 80°C, com isso se diminui os possíveis impactos no solo, à população e aos trabalhadores que irão manusear diretamente o lodo (VON SPERLING, 2005; CAMELO, 2014).

Ressalta-se que as características químicas do lodo de esgoto gerado nas estações de tratamento ETE's Norte e Sul da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) estão abaixo dos valores dos parâmetros químicos exigidos pela Resolução Conama nº 375/2006 (conforme apresentado na Tabela 3), esse fato foi também foi constatado nos estudos de QUEIROZ JR. (2010) em relação ao molibdênio. Por ter origem predominantemente doméstica, o lodo base úmida, no Distrito Federal, geralmente apresenta adequação às normas sanitárias no tocante à concentração de metais pesados (CONAMA, 2006; CONAM, 2006; CAESB, 2013).

Observa-se que as características químicas do lodo de esgoto e sua composição (Tabelas 3 e 4) variam em função do local de origem, proveniente de uma área tipicamente residencial ou industrial e da época do ano, dentre outros fatores (BETTIOL e CAMARGO, 2000). A variação na composição pode ser observada em relação às características químicas dos lodos de esgoto provenientes das ETE's Norte e Sul. Com relação às tecnologias de tratamento biológico, verifica-se uma baixa eficiência das ETE's da CAESB quanto à redução de patógenos (BATISTA, 2015). Segundo BATISTA (2015), os principais microrganismos persistentes no lodo gerado no Distrito Federal são bactérias coliformes termotolerantes e helmintos.

Tabela 3. Composição dos lodos de esgotos, produzidos nas ETEB's Norte e Sul do Distrito Federal, quanto às substâncias inorgânicas, expresso em base seca.

PARÂMETROS	UNIDADE	ETE NORTE	ETE SUL
Antimônio Total	Mg.kg ⁻¹	< 29,10	< 22,60
Arsênio Total	Mg.kg ⁻¹	< 3,02	< 2,35
Bário Total	Mg.kg ⁻¹	129,3	90,80
Cádmio Total	Mg.kg ⁻¹	3,78	3,81
Chumbo Total	Mg.kg ⁻¹	29,41	33,90
Cobre Total	Mg.kg ⁻¹	247,90	169,49
Cromo Total	Mg.kg ⁻¹	33,61	38,14
Mercúrio Total	Mg.kg ⁻¹	8,18	1,22
Molibdênio Total	Mg.kg ⁻¹	< 18,60	< 14,50
Níquel Total	Mg.kg ⁻¹	21,01	21,19
Selênio Total	Mg.kg ⁻¹	< 15,10	< 11,70
Zinco Total	Mg.kg ⁻¹	760,50	796,61

Fonte: Unidade de Gerenciamento de Lodos da CAESB – POEGL/DF (2010). Dados não publicados.

Tabela 4. Caracterização do LE produzido nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) Brasília Norte e Sul.

PARÂMETROS	UNIDADES	ETE NORTE	ETE SUL
pH (H ₂ O)	na	6,61	7,50
pH (KCI)	na	5,98	6,33
Sólidos Totais	mg/kg	14,94	16,48
Sólidos Solúveis	mg/kg	50,57	55,92
Cinzas	%	32,36	35,33
Umidade	%	85,33	85,44
Carbono Orgânico Total	%	29,34	27,91
Nitrogênio Kjeldhal Total	%	5,43	6,09
Nitrogênio Amoniacal	%	0,60	0,47
Nitrato	%	0,00	0,01
Nitrito	%	0,00	0,00
Fosforo Total	%	1,60	1,22
Potássio	%	0,11	0,22
Cálcio	%	1,24	1,04
Magnésio	%	0,26	0,16
Enxofre	%	2,40	1,40
Sódio	%	0,06	0,07
Alumínio	%	2,26	1,74
Sólidos totais voláteis	g/L	0,10	0,10
Sólidos totais	g/L	0,17	0,16
Teor de Cinzas	%	0,07	0,06
Umidade	%	83,00	84,00
Coliformes termotolerantes		59066,67	110400,00
<i>Salmonella</i> [lodo]		426,00	400,67
Cistos viáveis de protozoários		0,00	0,00
Ovos de Helmintos (Viáveis)		3,85	4,37
Massa seca	%	12,82	15,22

<i>Ascaris</i> n° ovos viáveis	n° ovos viáveis/g MS	0,69	0,54
<i>Hymenolepis</i>	n° ovos viáveis/g MS	0,68	0,66
<i>Trichuris sp</i>	n° ovos viáveis/g MS	0,12	0,34
<i>Schistoma sp</i>	n° ovos viáveis/g MS	0,06	0,21
<i>Toxocara sp</i>	n° ovos viáveis/g MS	0,00	0,03
N° Total de ovos viáveis/ g MS	n° ovos viáveis/g MS	1,57	1,77

Fonte: Unidade de Gerenciamento de Lodos da CAESB – POEGL/DF (2010). Dados não publicados.

Segundo MELO e MARQUES (2000), a composição média do esgoto é mistura de água (99,9%) e sólidos (0,01%), sendo que do total de sólidos, 30% são compostos inorgânicos (areia, sais, metais, etc.) e 70% são compostos orgânicos (proteínas, carboidratos e gorduras), os quais se constituem em fonte de carbono e de energia para os organismos heterotróficos, cujo metabolismo conduz à liberação de gás carbônico, fosfatos, nitratos e outros íons.

Estudos mostram que o LE é um produto rico em matéria orgânica e nutrientes, em especial o nitrogênio (N) e o fósforo (P), com potencial para aproveitamento agrícola, quando utilizado isoladamente ou em combinação com adubos verdes e/ou minerais (LEMAINSKI e SILVA, 2006). Os benefícios desse resíduo na agricultura têm sido observados em diversas culturas, como fonte nutricional e como melhorador das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (NASCIMENTO et al., 2011). Isso também foi confirmado pelos estudos de CORRÊA et al.(2010), ao observarem que a realização da incorporação do LE ao solo possibilitou a reabilitação das funções edáficas, permitindo o estabelecimento e a permanência da cobertura vegetal sobre o solo degradado. Segundo ALVES et al. (2007), a associação de adubo orgânico, proveniente de lodo de esgoto, e gramínea proporcionou maior crescimento de espécies arbóreas do Cerrado em processo de recuperação, e isso se deu em decorrência da melhoria e da recuperação das condições físicas do solo.

A disposição do lodo em áreas degradadas, devido à sua composição química, aumenta a capacidade de infiltração e retenção de água e a aeração do solo. Em locais que foram drasticamente alterados, como áreas de mineração, onde o solo não oferece condições ao desenvolvimento e fixação da vegetação, em função da falta de matéria orgânica e de nutrientes, pode-se realizar a recuperação desta área com a aplicação de altas doses de lodo de esgoto (LARA et al., 2001).

Porém, o lodo de esgoto não possui características que o torna capaz de ser compostado sozinho (CAMELO, 2014), pois em sua composição média há uma mistura de 99,9% de água e apenas 0,01% de sólidos (MELO e MARQUES, 2000). Para que ocorra o processo de compostagem é necessário misturá-lo com material ou resíduos estruturantes, de características complementares. No caso da compostagem do lodo, o agente estruturante também tem a função de

absorver o excesso de umidade e equilibrar a relação C/N da mistura (PROSAB, 2006), já que o lodo apresenta baixa relação C/N.

Além do lodo de esgoto, outros resíduos também são gerados nos centros urbanos, como por exemplo, a capina e a poda de árvores. Estes resíduos, ao contrário do lodo de esgoto, apresentam baixo potencial poluidor, mas também são gerados em grandes volumes, o que dificulta sua destinação final (FRAGA, 2016). Apresentam alto teor de matéria orgânica (REIS et al., 2000), são fonte de carbono (C), lignina e celulose (FIALHO et al., 2007), e podem ser utilizados no solo como complementação à adubação química (FIALHO et al., 2005), o que reduz custos e os impactos ambientais (FRAGA, 2016).

Os resíduos verdes triturados provenientes de poda e capinas, denominados de resíduos de poda de árvores, surgem como uma alternativa para auxiliarem na bioestabilização do lodo, (CARAMELO, 2014). É um material fibroso com alto teor de lignina e celulose, apresentando decomposição lenta ((FIALHO et al., 2005). Os resíduos vegetais também podem ser fonte de C e de Mg (SILVEIRA et al., 2010). Segundo SILVEIRA et al. (2010), a adição de resíduos vegetais no solo pode promover aumento dos níveis de Ca, Mg e K e ocasionar elevação da capacidade de troca catiônica (CTC). Esses resíduos, por possuírem granulometria mais grossa que o LE, aumentam os espaços porosos da massa, absorvem o excesso de umidade do lodo, balanceiam a relação C/N da mistura, além de oferecerem energia aos microrganismos (PROSAB, 2006).

Assim, o reaproveitamento destes resíduos surge como uma alternativa também para a produção de mudas vegetais, compondo substratos e fertilizantes eficazes para o desenvolvimento com qualidade das espécies vegetais (CARAMELO, 2014).

No Distrito Federal, de acordo com a Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (NOVACAP), os resíduos de poda de árvores são utilizados nos “coroamentos” das árvores, ajudando no controle de ervas daninhas e na manutenção da umidade do solo (NOVACAP, 2015).

Segundo FRAGA (2016), o lodo de esgoto tratado misturado a resíduos de poda de árvores podem ser utilizados como fonte de matéria orgânica para recuperar áreas urbanas degradadas pela mineração, pois, a mistura do lodo de esgoto (fonte de Nitrogênio (N) e Fósforo (P)) com material estruturante, como o resíduos de poda de árvores (fonte de Carbono (C)), resulta em um composto rico em substâncias húmicas (AQUILAR et al.,1994; FERREIRA et al.,1999; D’ORAZIO et al., 2005).

2.4 Importância dos invertebrados epígeos

O solo é um ecossistema no qual diversos organismos interagem entre si, podendo alterar as suas propriedades físicas, químicas e biológicas (MOREIRA et al., 2013). Várias atividades realizadas por esses organismos contribuem para a fertilidade de um solo, seja por meio da mineralização de nutrientes a partir da matéria orgânica, pela fixação de nutrientes, ou pela solubilização de fósforo (CORREIA, 2002).

Dentre os organismos vivos que estão presentes no solo destaca-se, a fauna edáfica. Denomina-se como fauna do solo ou fauna edáfica os invertebrados que vivem no solo durante toda a vida ou em algum estágio do ciclo biológico (BROWN e SAUTTER, 2009; BARETTA et al., 2011). Esses invertebrados têm um importante papel na regulação dos sistemas agrícolas, dos sistemas naturais e na atuação nos processos de decomposição, mineralização e humificação de resíduos orgânicos; imobilização e mobilização de macro e micronutrientes; estruturação e agregação do solo e consequente conservação e regulação de pragas e doenças (auto-regulação), beneficiando os sistemas de produção como um todo (DEVIDE e CASTRO, 2008).

De acordo com BARETTA et al. (2011), a biota do solo pode ser classificada de diferentes formas, e citam que a classificação proposta por SWIFT et al. (1979), é a mais utilizada cientificamente. Nesse modelo, os grupos são classificados de acordo com sua mobilidade, hábito alimentar, função que desempenham no solo e, principalmente pelo seu tamanho corporal (diâmetro), em: microfauna (< 0,2 mm), mesofauna (0,2 – 2,0 mm) e macrofauna (> 2,0 mm).

A macrofauna edáfica compreende os maiores invertebrados do solo (organismos com mais de 10 mm de comprimento ou com mais de 2 mm de diâmetro corporal, ou seja aqueles que são visíveis a olho nu e que utilizam o solo-serapilheira-vegetação como habitat, sendo os responsáveis pela fragmentação da matéria orgânica e pela estruturação do solo, como minhocas (Oligochaeta), besouros adultos e em estado larval (Coleoptera), centopéias (Chilopoda), cupins (Isoptera), formigas (Hymenoptera), piolhos de cobra ou milipéias (Diplopoda), baratas (Blattaria), tesourinhas (Dermaptera), grilos (Orthoptera), caracóis (Gastropoda), escorpiões (Scorpiones), percevejos e cigarras (Hemiptera), mosquitos e larvas de mosca (Diptera), mariposas (Lepidoptera), tatuzinhos (Isoptera), aranhas (Arachnida) e outros organismos que podem ser consumidores de solo (geófagos), de partes vivas das plantas (fitófagos), de matéria orgânica do solo (humívoros), de serapilheira (detritívoros), de madeira (xilófagos), de raízes (rizófagos), de outros animais

(predadores, parasitas, necrófagos) e de fungos (fungívoros) (WOLTERS, 2000; LAVELLE e SPAIN 2001; SILVA e AMARAL., 2013; BROWN et al., 2015).

SILVA et al. (2006), citam que a macrofauna do solo ocupa diversos níveis tróficos dentro da cadeia alimentar edáfica. A mineralização e humificação da matéria orgânica, bem como a disponibilidade de nutrientes para as plantas são processos governados pela comunidade microbiana, cujas atividades e populações são diretamente afetadas pelos organismos invertebrados do solo (DECAËNS et al., 2003). Os invertebrados detritívoros fragmentam os resíduos orgânicos e promovem a mistura destes com partículas minerais e orgânicas do solo, podendo também contribuir para a redistribuição em profundidade do material orgânico (BARETTA et al., 2007), processo fundamental para a ciclagem de nutrientes no ambiente. Outros microorganismos importantes para o ecossistema edáfico, também influenciados pela macrofauna, são os simbioses, como bactérias fixadoras de N e fungos micorrízicos (BROWN, 1995). Nas áreas tropicais essa associação mutualística entre os macro e microrganismos é fundamental para a decomposição da MOS, ciclagem de nutrientes, propriedades físicas do solo e controle biológico, conhecidas como funções ecológicas ou serviços ambientais, dependendo do ambiente ou sistema onde é desenvolvida (KORASAKI et al., 2013).

BROWN et al., (2015) citam que alguns organismos da macrofauna, especialmente os cupins, os besouros escarabeídeos, as formigas, as milipéias e as minhocas, recebem a denominação de “engenheiros do solo” por terem a capacidade de modificar as características físicas e químicas do solo por meio do desenvolvimento de estruturas biogênicas, como túneis, canais, galerias, ninhos, câmaras e bolotas fecais, modificando assim as propriedades físicas dos solos onde vivem e a disponibilidade e distribuição de nutrientes para outros organismos e plantas. Essas alterações contribuem para a formação de agregados estáveis, e isso faz com que a MOS seja mineralizada de forma mais lenta, o que promove aumento da disponibilidade de nutrientes para as plantas (LAVELLE e SPAIN, 2001; DECAËNS et al., 2003). Abaixo serão descritos detalhes de alguns “engenheiros do solo” que contribuem em processos edáficos importantes.

Os térmitas (Isoptera) são insetos que se organizam em colônias e apresentam hábitos alimentares variados, o que permitiu sua ocorrência em praticamente todos os ambientes terrestres (LIMA, 2007), atuando como fitófagos, coprófagos, geófagos, xilófagos, predadores, fungívoros, humívoros e detritívoros. Dentre os serviços ambientais prestados destaca-se o fato de acelerar a decomposição e a reciclagem dos nutrientes minerais retidos na matéria vegetal morta, e, por construírem extensas redes de ninhos e túneis no solo, o que leva a movimentação de partículas do

solo e a formação de agregados, promovendo o aumento da porosidade, aeração, infiltração e drenagem do solo (LAVELLE e SPAIN, 2001).

Os coleópteros (Coleoptera) são insetos de tamanhos variados sendo encontrados por todo o mundo, nos mais variados ambientes. Apresentam hábitos alimentares diversificados atuando como predadores, fitófagos, rizófagos e saprófagos (BARETTA et al., 2011; BROWN et al., 2015). Algumas famílias como a Scarabeidae são importantes realizadoras de serviços ambientais, como a escavação e posterior acúmulo de matéria orgânica do solo em profundidade (LOUZADA, 2008).

As formigas (Hymenoptera) assim como os térmitas também são insetos sociais que vivem em colônias. Quanto ao hábito alimentar atuam como predadores, fitófagos e saprófagos. Exercem papel crucial na estrutura do solo, pela construção de formigueiros, galerias subterrâneas e pelo transporte de matéria orgânica da superfície para profundidade, influenciando o armazenamento e distribuição de água no solo. É o principal predador dos microartrópodes no solo, podendo atuar na regulação de populações e no controle biológico (VASCONCELOS, 2008).

As minhocas (Oligochaeta), pelas funções que desempenham no solo, estão entre os organismos mais importantes da macrofauna (BARTZ et al., 2009). Além de criar túneis no solo, melhorando a distribuição de água no perfil do seu hábitat, decompõem resíduos orgânicos – gerando o húmus (LAZCANO e DOMINGUEZ, 2011), além de atuar na ciclagem de nutrientes e distribuição destes no perfil do solo.

As milipéias, também chamadas de piolhos de cobra (Diplopoda), quanto ao hábito alimentar podem ser detritívoras, coprófagas, geófagas, transformam a liteira (LAVELLE et al., 1997) e promovem a incorporação da serapilheira, afetando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo como hábitat (TOYOTA et al., 2006).

BARETTA et al. (2011), relatam que alterações de ordem biológicas, físicas e químicas ocorridas no solo, decorrentes das práticas de manejo e cultivo empregadas, causam impacto sobre os organismos edáficos, podendo aumentá-los (no caso do uso de práticas conservacionistas do solo, uso de resíduos orgânicos) ou diminuí-los (temperatura, umidade, compactação do solo, interferência antrópica). Isso ocorre porque os organismos epígeos respondem às diversas intervenções antrópicas realizadas no meio ambiente (LAVELLE e SPAIN, 2001), constituindo-se em elementos importantes como indicadores biológicos em áreas degradadas ou em processo de recuperação, servindo para monitorar a qualidade do solo (BARETTA et al., 2011).

Sendo assim, a caracterização dos invertebrados epígeos auxilia no monitoramento de mudanças ambientais que podem ocorrer quando se retira a vegetação original de uma determinada área para os mais diversos fins, como a agricultura. A partir desse conhecimento, um estudo foi

conduzido na região sob abrangência do Cerrado, denominada como Matopiba - PI (SANTOS et al., 2016), para avaliar como os diferentes manejos agrícolas do solo influenciam nos grupos da macrofauna. Neste trabalho, utilizando-se o método de amostragem do monólito, verificaram que a conversão de áreas sob vegetação natural em áreas agrícolas reduziu a densidade de indivíduos da macrofauna, além de modificar os grupos dominantes. SANTOS et al. (2016), observaram que nas áreas sobre vegetação nativa de Cerrado a dominância dos indivíduos encontravam-se nos grupos Isoptera (75,5%) e Hymenoptera (18,4%), enquanto que nas áreas de produção os grupos dominantes foram Coleoptera adulto (51,4%) e em fase larval (23,8%) sob plantio direto e, Isoptera (57,3%) e larvas de Coleoptera (18,3%) sob preparo convencional.

Resultado semelhante foi observado por BATISTA et al. (2014), ao comparar a adoção do sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) com área de vegetação nativa de Cerrado, dominada por Cerradão. Nesse trabalho, a predominância das ordens Isoptera e da família Formicidae foi verificada tanto no período seco, como no chuvoso (75 e 91% dos indivíduos, respectivamente), com diminuição da presença desses grupos na área de ILP. Efeito inverso, como o aumento da densidade e diversidade de grupos da macrofauna do solo, é esperado quando se busca reestabelecer a cobertura vegetal em áreas degradadas. O solo exposto apresenta oferta limitada ou praticamente nula de resíduos vegetais e materiais orgânicos, base da alimentação dos organismos edáficos, além de reduzir a disponibilidade de água e favorecer o aumento da temperatura no ambiente. Em vista disso, a introdução de plantas em áreas degradadas tende a promover um estímulo na comunidade edáfica, pela melhoria das condições ambientais e seu monitoramento possibilita avaliar o processo de recuperação de áreas degradadas (FERNANDES et al., 2012).

Ao avaliar a revegetação de uma área degradada no Sul do Piauí com *Enterolobium contortisiliquum*, 15 meses após o plantio, FERNANDES et al. (2012), verificaram que no período seco houve uma redução na quantidade de indivíduos e na riqueza de grupos da macrofauna do solo, avaliados pelo método da armadilha de queda, resultado das condições climáticas de umidade e temperatura, em associação com a redução na oferta de alimento (FERNANDES et al., 2011). A família Formicidae foi o grupo dominante observado tanto na área reflorestada com a leguminosa, quanto na área sob vegetação nativa, embora a densidade de indivíduos na área em recuperação tenha sido menor. Os autores ainda destacam que a presença do grupo taxonômico Araneae nas áreas revegetadas com a arbórea leguminosa foi um indicativo de reestabelecimento da fauna edáfica, uma vez que a presença de predadores está relacionada com a estabilidade de ecossistemas e em ambientes degradados o baixo percentual de indivíduos desse grupo é consequência da

ausência de presas (VICENTE et al., 2010). O estabelecimento da vegetação possivelmente colaborou para a reorganização da cadeia trófica no ambiente degradado em recuperação.

2.5 Invertebrados epígeos como bioindicadores na recuperação de áreas degradadas

A qualidade do solo está relacionada com a capacidade que este tem em: funcionar como meio para o crescimento das plantas, estocar e reciclar água, nutrientes e energia e servir como tampão ambiental de compostos prejudiciais ao ambiente, visando sustentar a produtividade biológica e manter a qualidade ambiental (DORAN, 1997; CARTER, 2001; BARETTA et al., 2007; BARETTA et al., 2011). Porém, é a integração das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo que o proporciona ter condições de exercer suas funções (VEZZANI et al., 2009).

Os invertebrados edáficos por desempenhar várias funções ecossistêmicas e ecológicas e ter alto grau de sensibilidade às modificações, de qualquer natureza, que ocorrem em seu habitat, podem servir como bioindicadores da qualidade do solo (WINK et al., 2005; BARETTA et al., 2006; BARETTA et al., 2011). Os indicadores da qualidade do solo são um instrumento importante que serve para indicar se houve mudanças ambientais em um determinado local em função das práticas de manejo adotadas (BARETTA et al., 2006; BARETTA et al., 2011). Para se aferir a qualidade de um solo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola e pecuário, têm-se utilizado variáveis físicas, químicas e biológicas (SALTON, 2008).

Segundo BARETTA *et al.* (2011), a biodiversidade da fauna edáfica está relacionada com a abundância e variabilidade de espécies de organismos presentes no solo, podendo revelar o nível de qualidade ambiental de uma dada área (WINK et al., 2005).

Uma das formas de observar, monitorar e avaliar os padrões de mudança nessa biodiversidade, provocadas por ações antrópicas, se dá por meio da avaliação da presença ou da ausência de espécies ou grupo de espécies de insetos que atuam como bioindicadores da degradação ambiental (SANTOS et al., 2006), podendo assim servir como parâmetro a ser avaliado (RÉ, 2007), a fim de que sejam tomadas medidas para manter, recuperar ou restaurar a sanidade ambiental do local (CARVALHO, 2014). Por meio do estudo dos invertebrados epígeos é possível avaliar um sistema natural no qual houve interferências antrópicas, pois servem como instrumento indicador da

sustentabilidade, degradação ou recuperação de uma área, e como meio para se avaliar as interações biológicas no sistema solo/planta (HOFFMANN et al., 2009)

De acordo com CARVALHO (2014), os invertebrados epígeos são importantes para a formação da estrutura do solo e na regeneração deste, trazem benefícios para a vegetação (por meio da disponibilização de nutrientes) e mantêm o equilíbrio entre as populações de organismos presentes, proporcionando o restabelecimento de comunidades para a restauração de ambientes degradados. A observação e o acompanhamento das características populacionais de grupos de organismos invertebrados do solo considerados como indicadores ou bioindicadores é uma forma de avaliar o equilíbrio ambiental de uma área. Os insetos destacam-se como importantes indicadores, por ser o grupo mais diverso e de fácil captura (WINK et al., 2005; BARETTA et al., 2011).

Esses invertebrados podem ser explorados nos processos de remediação e recuperação de áreas degradadas, por meio de sua participação nas transformações no ambiente, que resultam na criação de novos micro-habitat e nichos, possibilitando o aumento da biodiversidade (CORREIA, 2002).

Logo, tais características justificam o uso dos invertebrados epígeos como bioindicadores de modificações ambientais, sendo que o monitoramento desses organismos e o estudo das relações entre diversidade e flutuação populacional são particularmente importantes para a previsão de mudanças no funcionamento dos sistemas de produção e avaliação da qualidade do solo (ASSAD, 1997; WINK et al., 2005; BARETTA et al., 2011).

2.6 Métodos utilizados para o estudo de invertebrados epígeos

Os invertebrados epígeos apresentam uma variedade enorme de formas biológicas distintas, de diferentes ordens e, conforme já relatado, desempenham papel ecológico como a ciclagem de nutrientes, o revolvimento do solo, a incorporação de matéria orgânica e controle biológico de pragas do solo. O conhecimento desses organismos pode auxiliar na avaliação da qualidade ambiental e na adoção de medidas para promover a melhoria do ambiente, porém, a primeira etapa para se conhecer a diversidade desses animais num determinado habitat consiste em coletar espécies (SILVA e AMARAL, 2013).

Para o estudo dos invertebrados epígeos como bioindicadores de qualidade do solo têm-se disponíveis diversos métodos recomendados pela literatura especializada, como, por exemplo, os monólitos de solo e as armadilhas (BARETTA et al., 2011).

Os monólitos do solo são um método de catação manual recomendado pelo programa "Tropical Soil Biology and Fertility" (ANDERSON e INGRAM, 1993) e consiste em colocar no solo, em profundidades variáveis, um bloco feito de qualquer material contendo as dimensões 25 cm x 25 cm. Após a retirada do bloco do solo, realiza-se a extração manual dos animais, conservação, contagem e identificação dos mesmos (AQUINO, 2001).

O uso de armadilhas é um dos métodos mais utilizados para o estudo dos organismos epígeos do solo, ou seja, aqueles que ficam, principalmente, na superfície do solo (AQUINO, 2001) e pode ser definida como um equipamento construído de tal maneira que uma vez capturado o organismo, o mesmo não consiga mais sair (ALMEIDA et al., 2003). Existem variados tipos de armadilhas, com destaque para a armadilha de queda, ou "pitfall", sendo esta comumente utilizada para coletar artrópodes em tocas de animais, na serapilheira, na madeira em degradação e em turfeiras, mas a aplicação mais comum é para os artrópodes ativos na superfície do solo (MOREIRA et al., 2010). As armadilhas de queda possibilitam estudos sobre a diversidade de espécies e a densidade populacional, a flutuação populacional, a distribuição anual e a migração (MOLDENKE, 1994; BARBOSA, 2008). O seu formato consiste, em geral, de um recipiente plástico enterrado ao nível do solo com solução para matar e conservar os animais capturados. O volume do recipiente pode variar de 300 a 500 ml, como o caso de potes de plástico transparentes, que podem ser utilizados para esse tipo de armadilha. Uma alternativa aos potes plásticos seriam garrafas plásticas de refrigerante (2 litros), cortadas ao meio (PARR e CHOWN, 2001).

Essas armadilhas apresentam como vantagens o fato de conseguir amostrar organismos da macro e mesofauna simultaneamente, e capturar inclusive animais que são ativos à noite. Entre as desvantagens deste método está o fato de não conseguir amostrar todos os grupos taxonômicos com a mesma eficiência, pois besouros, formigas, ortópteros juvenis, miriápodes, aranhas e outros aracnídeos grandes tendem a dominar a captura, enquanto que insetos alados, além de serem capazes de escapar também são susceptíveis a danos por mamíferos, pássaros e pelo homem (MOREIRA et al., 2010).

Os fatores que determinam a composição e a riqueza dos organismos coletados pelas armadilhas de queda estão relacionados a características como: tipo de solo, cobertura vegetal, escala temporal e regional, salientando-se que são coletadas apenas espécies que estão em atividade (PETILLON et al., 2006; LACHAT et al., 2006).

3. HIPÓTESES E OBJETIVOS

3.1 Hipóteses

- Em áreas degradadas encontram-se baixa densidade e diversidade de grupos taxonômicos de invertebrados epígeos em comparação com áreas degradadas em processo de recuperação.
- O uso de matéria orgânica na forma de lodo de esgoto tratado melhora as propriedades químicas e biológicas do solo degradado que está em processo de recuperação.
- O uso de matéria orgânica na forma de lodo de esgoto e poda de árvores favorece a produção de serapilheira e estimula o aumento da diversidade e densidade de grupos taxonômicos de invertebrados epígeos.

3.2 Objetivos

3.2.1 Objetivo geral

- Avaliar a influência do uso de lodo de esgoto tratado e resíduos de poda de árvores na recuperação de uma área degradada considerando a comunidade de invertebrados epígeos.

3.2.2 Objetivos específicos

- Comparar a diversidade e a abundância dos invertebrados epígeos presentes na área degradada com as estratégias utilizadas na recuperação desta área, via adição de matéria orgânica na forma de lodo de esgoto tratado e/ou resíduos de poda de árvores.
- Avaliar a relação dos invertebrados epígeos com os atributos químicos e microbiológicos do solo nas áreas estudadas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e caracterização da área experimental

A área degradada estudada localiza-se ao Norte da DF-095 (Via Estrutural) e a Oeste da DF-003 (EPIA), entre o Setor de Oficinas Norte e a Cidade do Automóvel, próxima à antiga estação Rodoferroviária de Brasília – Distrito Federal (15°46'32''S; 47°56'56''W). Pertence à União Federal, porém atualmente está sob a responsabilidade administrativa do Comando do Exército da 11ª Região Militar (Figura 1).

O local encontra-se em processo de recuperação através de um projeto de aplicação de lodo de esgoto tratado, em parceria firmada, por meio do Termo de Cooperação Técnica nº 12-046-00, publicado no DODF nº 139, em 19 de julho de 2012 (COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL, 2013), entre as entidades governamentais do Distrito Federal: Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), a Companhia Imobiliária de Brasília (TERRACAP) e o Exército Brasileiro (EB), com anuência do Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal – Brasília Ambiental (IBRAM), o qual concedeu para atividade “Projeto Aplicação Lodo de Esgoto” a Autorização Ambiental nº 055/2012.

Essa área degradou-se em função da extração de solo, que foi utilizado em obras civis no Distrito Federal, nas décadas de 1950 e 1960, e por muito tempo serviu para deposição de resíduos oriundos da construção civil, de poda de árvores, de restos de capinas e de outros resíduos domésticos (IBRAM, 2012; CAESB, 2013). Possui uma superfície degradada de aproximadamente 185 hectares, e o solo no local apresenta regeneração de vegetação nativa insignificante (CAESB, 2013).

Está contida na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá, e a classe de solo dominante é o Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2013).

O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen (tropical estacional de savana), com período chuvoso de outubro a março e estação seca bem definida de abril a setembro, com precipitação média anual de 1.550 mm e temperaturas médias anuais variando de 18° C a 25,5° C, de acordo com o INMET (2016) (Figura 2).

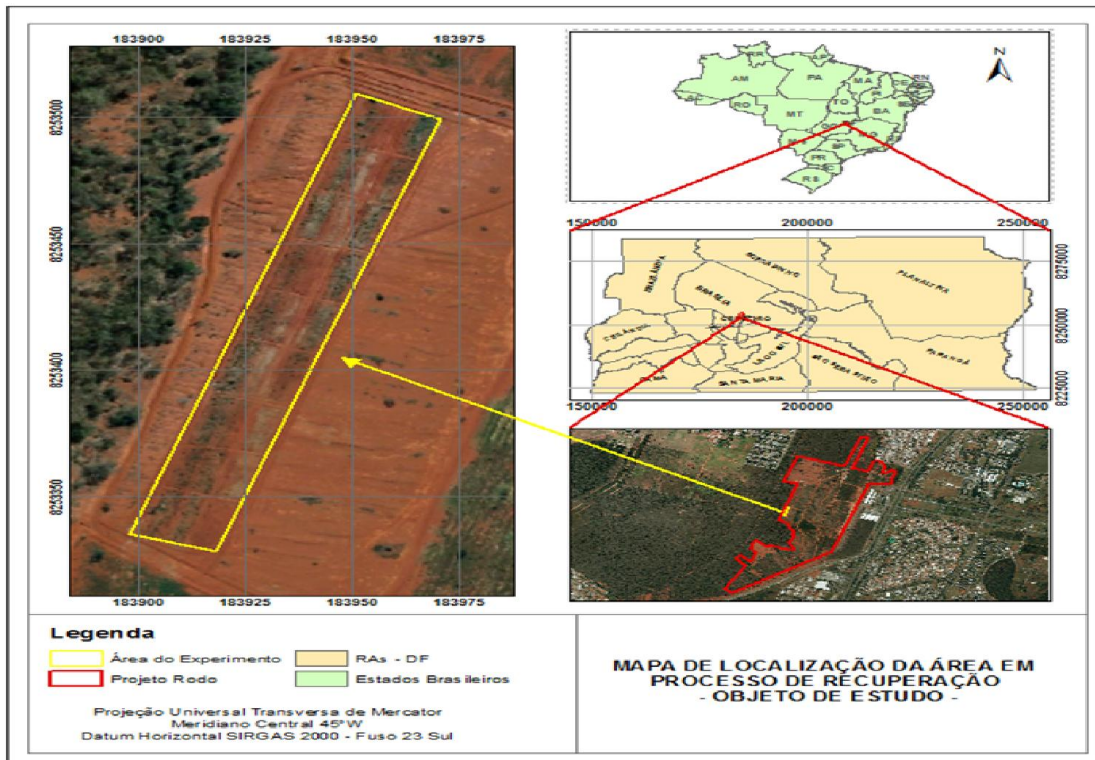


Figura 1. Localização da área objeto de estudo.

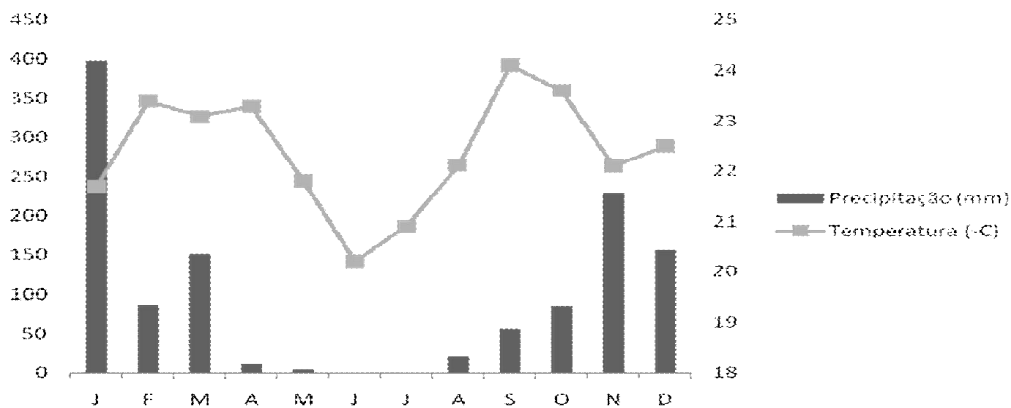


Figura 2. Precipitação total (barras) e temperaturas médias (linha) em Brasília, no ano de 2016. Fonte: INMET (2016).

Nas áreas adjacentes à cascalheira (porção oeste) existem fragmentos de vegetação nativa com formações de cerrado denso e cerrado sentido restrito, com ocorrência das espécies arbóreas de *Aegiphila ihotzkiana* (Lamiaceae), *Casearia sylvestris* (Flacourtiaceae), *Dalbergia miscolobium* (Fabaceae), *Erythroxylum tortuosum* (Erythroxylaceae), *Kielmeyera coriácea* (Guttiferae), *Machaerium opacum* (Fabaceae), *Tabebuia ochraceae* (Bignoniaceae), dentre outras. Também há ocorrência de espécies exóticas e de espécies exóticas invasoras, como *Brachiaria decumbens*

(capim-braquiária), *Melinis minutiflora* (capim-meloso), *Andropogon goyanus* (capim-andropogon), *Ricinus communis* (mamona), *Leucaena leucocephalentre* (Leucena), dentre outras, conforme levantamento florístico realizado na área (CAESB, 2013).

Visando adicionar matéria orgânica a este solo e promover a recuperação dessa área, tem-se desenvolvido estudos utilizando a associação do lodo de esgoto com outros resíduos. Parte do local já está sendo recuperado utilizando a aplicação e incorporação de lodo de esgoto em conjunto com o plantio e incorporação de adubação verde, tais como: feijão-guandu (*Cajanus cajan* L. Millsp), crotalaria (*Crotalaria* spp.) e/ou estilosantes (*Stylosanthes* spp.), seguida do plantio de mudas de espécies arbóreas (IBRAM, 2012; CAESB, 2013), conforme metodologia proposta por CORRÊA (2004).

4.1.1 Histórico da área

A área do experimento está contida em parte da área total de 185 ha, que ainda não foi recuperada, e, possui aproximadamente, 2.700 m² (180 m x 15 m). Foi instalada em fevereiro de 2014, objetivando-se a sua recuperação, na qual se avaliou os efeitos do uso do lodo de esgoto e suas interações com resíduos vegetais oriundos de podas de árvores na sobrevivência e crescimento de espécies vegetais nativas do Cerrado (FRAGA, 2016).

No preparo das parcelas experimentais (Figura 3) utilizou-se lodo de esgoto base úmida, resíduos de poda de árvores e mudas de espécies nativas do Cerrado. O primeiro foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Sul (ETEB Sul) e disponibilizado pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB). Os resíduos de poda de árvores foram disponibilizados pelo Viveiro II da Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (NOVACAP/DF), e eram constituídos por folhas trituradas, oriundos dos serviços de poda de árvores, em vias públicas, no Distrito Federal. Já as mudas plantadas nas parcelas foram doadas pelo Viveiro Embrapa Cerrados e pelo Viveiro Irmãos Radel (Luziânia/GO). Os critérios de escolha das espécies plantadas se deram em função da disponibilidade de mudas no mercado, bem como da recomendação (via literatura) de espécies arbóreas indicadas para plantios de recuperação ambiental no Cerrado.

Para o cálculo da taxa de aplicação do lodo de esgoto, na área total em recuperação (185 ha), foram utilizados parâmetros visando elevar para 2% o teor de matéria orgânica (MO) disponível no solo da área minerada. Para isso, considerou-se que esse solo apresentava teor de MO próximo a 0% e que o lodo utilizado apresentava teor médio de MO de 54,41%. Após os cálculos, obteve-se o

valor médio aproximado de 540 m³/ha, de lodo base úmida, que corresponde a 70 ton ha⁻¹ de lodo base seca (CAESB, 2010).

Para a definição das dosagens dos resíduos de poda foi verificada a capacidade máxima de incorporação destes resíduos no solo da cascalheira (FRAGA, 2016).

Cada parcela ocupou uma área de 100 m² (20 m x 5 m) e totalizaram 27 parcelas (2.700 m²). Os tratamentos foram compostos por diferentes doses de lodo de esgoto tratado e de resíduos de poda de árvores. Dentro das parcelas, as diferentes dosagens de lodo de esgoto tratado (lodo) e de resíduos de poda de árvores (resíduos de poda) foram descarregados através de caminhões basculantes, espalhados por meio de uma retroescavadeira e incorporados ao solo, a uma profundidade média de 20 cm, através de grade aradora e arado de quatro discos acoplados em trator 4 x 4.

Após a incorporação destes resíduos ao solo realizou-se a caleação (deposição de cal hidratada no solo) nas parcelas que receberam o lodo, através de distribuidor de calcário acoplado ao trator, visando diminuir a ocorrência de vetores na área e minimizar o odor característico do lodo de esgoto tratado. Quinze dias após a incorporação dos resíduos (tempo necessário para ocorrer à maturação do lodo de esgoto e a diminuição da intensa atividade microbiana reativada por ele), em cada parcela experimental, confeccionaram-se 03 linhas de plantio e abriram-se 20 covas em cada linha (Figura 03), onde foram plantadas/parcela (em março/2014) 60 mudas de 10 espécies arbóreas nativas do Cerrado (06 mudas/espécie), com espaçamento 2 m x 1m (Tabela 8).

Foram feitas 3 repetições por tratamento, totalizando 27 parcelas e 1620 mudas plantadas. Para o cálculo das dosagens do lodo de esgoto considerou-se a dose padrão estabelecida pela Caesb (540 m³ ha⁻¹), e as dosagens utilizadas foram: dose 0 (L0), a metade da dose padrão correspondente (L1 - 270 m³ ha⁻¹) e o dobro da dose padrão (L2 - 1080 m³ ha⁻¹). Para as dosagens dos resíduos de poda foram utilizadas: dose 0 (P0), metade da dose considerada como a capacidade máxima de incorporação dos resíduos de poda no solo (P1 - 122,5 ton.ha⁻¹) e a dose com a capacidade máxima de incorporação dos resíduos de poda no solo da cascalheira (P2 - de 245 ton.ha⁻¹) (FRAGA, 2016).



Figura 3. Preparo das parcelas experimentais. Deposição e incorporação dos resíduos de poda e do lodo de esgoto, calação e plantio de mudas de espécies arbóreas nativas do Cerrado na área experimental (fevereiro-março de 2014). Fonte: FRAGA, 2016.

Antes do estabelecimento do experimento (fevereiro de 2014), foi realizada a análise química e física do substrato da área experimental, que foi amostrado nas profundidades de 00-20 e 20-40 cm. De acordo com o resultado obtido, o substrato apresentava textura argilosa e baixo teor de matéria orgânica e de nutrientes (Tabela 5). Segundo FRAGA (2016), a camada superficial apresentava-se compactada e com ausência de cobertura vegetal.

Tabela 5. Características químicas do substrato antes do estabelecimento do experimento (fevereiro de 2014).

Profundidade	Parâmetros								
	pH (H ₂ O)	CTC Cmol/dm ³	MOg/kg.....	CO	Ca	Mg	K	Al	P mg/dm ³
00-20	5,0	3,5	9,0	5,0	0,6	0,3	0,1	0,0	0,3
20-40	5,1	3,1	7,4	3,3	0,4	0,2	0,0	0,0	0,2

Profundidade	Granulometria		
	Argila	Areia	Silte
g/kg.....		
00-20	550	250	200
20-40	575	250	175

Fonte: FRAGA (2016).

Os resíduos de poda de árvores antes de serem utilizados nos tratamentos avaliados também foram analisados quimicamente (Tabela 6), o que evidencia a alta relação de C/N (55,85) deste resíduo.

Tabela 6. Composição química dos resíduos de poda de árvores utilizados nos tratamentos avaliados.

CO	Ca	Mg	K	P	N
.....g/kg.....g/kg.....g/kg.....g/kg.....g/kg.....g/kg.....
564,10	23,50	3,25	9,60	1,37	10,10

Fonte: FRAGA (2016).

Quanto ao lodo de esgoto utilizado nos tratamentos não foi realizada análise química do mesmo, utilizando-se dos resultados fornecidos pela CAESB quanto aos teores de macronutrientes, umidade, pH e matéria orgânica (Tabela 07), (FRAGA, 2016). Os resultados fornecidos leva a concluir que se trata de um resíduo orgânico com alto teor de umidade (86,6%) e baixa relação C/N (6,20).

Tabela 7. Composição química do lodo de esgoto utilizado nos tratamentos (expressos em base seca).

Parâmetros	Unidades	ETEB Sul
pH em água destilada (1:5)		7,23
Umidade	%	86,6
Fósforo Total	%	4,66
Matéria Orgânica Total	%	54,41
Carbono Orgânico Total	%	30,92
Nitrogênio Total Kjeldahl	%	4,98
Nitrogênio Amoniacal	%	1,33
Nitrogênio de Nitrato	mg/kg	3,36
Nitrogênio de Nitrito	mg/kg	3,39
Nitrogênio de Nitrito	%	4,98
Nitrogênio Total Kjeldahl	%	0,14
Enxofre	%	13,4
Sólidos Totais	%	4,1
Sólidos Totais Fixo	%	9,3
Cálcio Total	%	2,03
Magnésio Total	%	1,83
Potássio Total	%	0,68
Sódio Total	%	0,25
Alumínio Total	%	3,3
Ferro Total	%	2,44

Fonte: CAESB (2010).

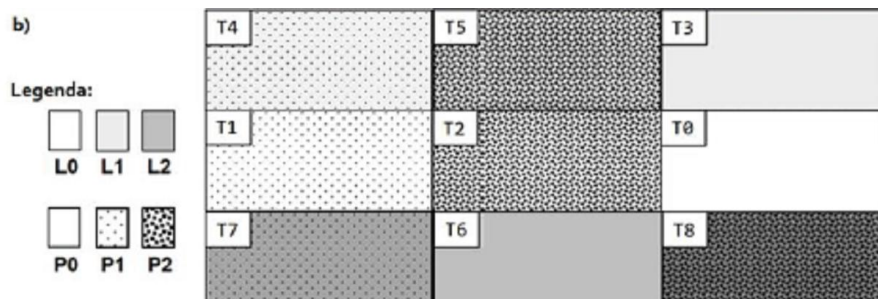
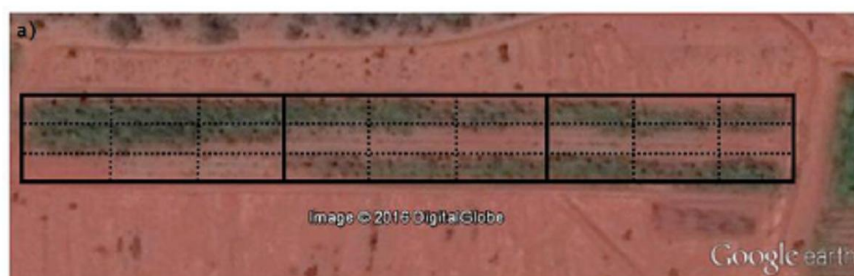
Tabela 8. Relação das espécies arbóreas utilizadas na implantação do experimento.

Família	Nome Científico	Nome Popular	Idade mudas plantio (meses)
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Aroeira-pimenteira	02
Bignoniaceae	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Ipê-roxo	02
	<i>Tabebuia aurea</i>	Caraíba	24
Fabaceae Caesalpineoideae	<i>Copaifera langsdorffii</i>	Copaíba	02
	<i>Peltophorum dubium</i>	Canafistula	02
Fabaceae Mimosoideae	<i>Anadenanthera colubrina</i>	Angico	02
	<i>Senegalia polyphylla</i>	Monjoleiro	12
Malvaceae	<i>Sterculia striata</i>	Chichá	08
Rubiaceae	<i>Alibertia edulis</i>	Marmelada-preta	12
	<i>Alibertia sessilis</i>	Marmelada	12

Fonte: FRAGA (2016).

4.1.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental consistiu em blocos casualizados em fatorial completo, com dois fatores (lodo de esgoto tratado e resíduos de poda de árvores) em três níveis de dosagem cada fator (lodo: 0, 270 e 1.080m³. ha⁻¹, resíduo de poda: 0, 122,5 e 245 ton. ha⁻¹). Utilizou-se oito tratamentos e um controle (L0P0), repetiu-se 03 vezes cada tratamento, totalizando 27 parcelas experimentais. Os tratamentos foram colocados em parcelas experimentais vizinhas umas às outras (Figura 4).



c)

L2P2	L2P0	L2P1	L2P1	L2P2	L2P0	L1P1	L1P2	L1P0
L1P1	L1P2	L1P0	LOP1	LOP2	LOP0	LOP1	LOP2	LOP0
L0P0	L0P1	L0P2	L1P0	L1P1	L1P2	L2P1	L2P0	L2P2

Figura 4. Disposição dos blocos (60 m x 15 m – cada um) e das parcelas (20 m x 5 m) na área experimental. 4.a Área objeto do estudo. 4.b Representação esquemática de um dos blocos casualizados contendo os oito tratamentos (T1-T8) e o controle (T0). 4.c Representação esquemática dos blocos e das parcelas da área experimental contendo os tratamentos utilizados. Fonte: FRAGA (2016).

4.2 AVALIAÇÃO DOS INVERTEBRADOS EPÍGEOS

4.2.1 Caracterização e instalação das armadilhas

Os invertebrados epígeos foram capturados através de armadilhas de queda do tipo “*pitfall*”. Foram colocadas, nas entrelinhas das espécies arbóreas plantadas ao longo de cada uma das 27 parcelas, 04 armadilhas, dispostas equidistantes a 4 metros uma das outras, e a 4 metros das bordas, perfazendo ao todo 108 armadilhas (Figura 5).

As armadilhas foram feitas de garrafas plásticas de refrigerante (2 litros), cortadas ao meio. Dentro de cada armadilha foi colocado um recipiente plástico transparente de 500 ml contendo 250 ml de solução de álcool 50%, cujo objetivo era conter os organismos capturados (Figura 6). Dentro deste recipiente plástico foi inserida a parte de cima da garrafa cortada, virada para baixo, que serviu de “funil” para que os organismos capturados caíssem na solução e não conseguissem fugir. Toda a armadilha (garrafa cortada ao meio, recipiente plástico e funil) ficou enterrada ao nível do solo, adaptado de PARR e CHOWN, 2001. Sobre as armadilhas foi colocado um prato plástico de 11 cm de diâmetro, suspenso por 03 arames presos ao solo, com a finalidade de proteger as armadilhas da chuva.

a)



b)



Figura 5. Disposição das armadilhas ao longo das parcelas experimentais (março/2016). 5.a Modelo de uma das armadilhas instalada na área experimental (março/2016). 5.b Disposição das quatro armadilhas instaladas em uma das parcelas experimental (março/2016).

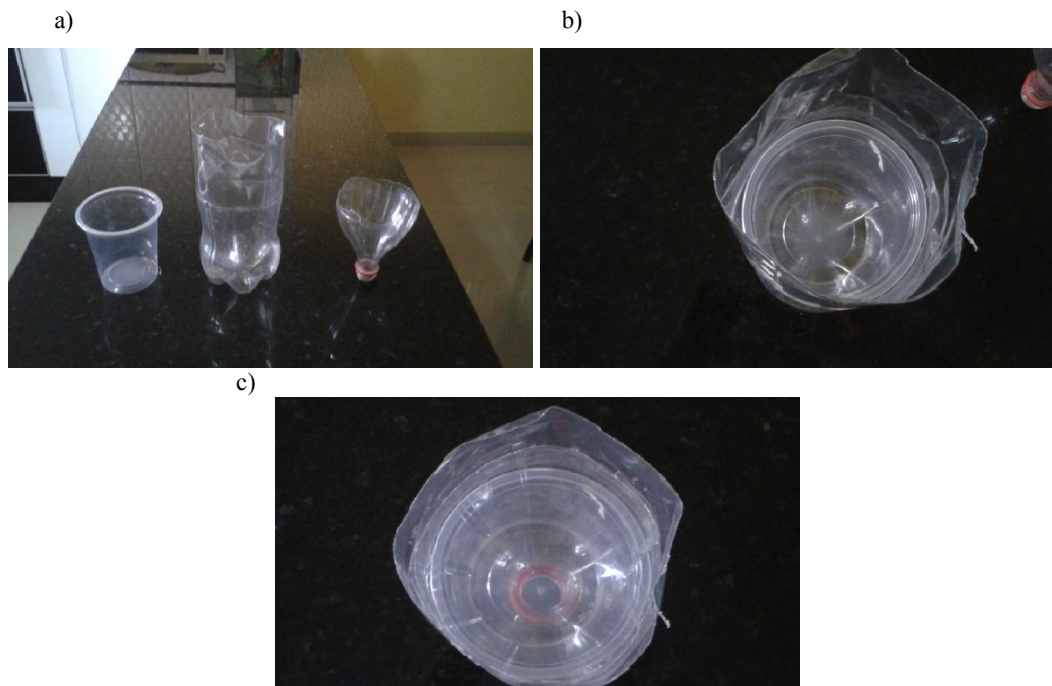


Figura 6. Armadilhas de queda do tipo “pitfall”, feitas de garrafas pet (2 litros cortada ao meio) e pote plástico (500 ml). 6.a Materiais utilizados para a confecção das armadilhas de queda na área experimental (março e julho/2016). 6.b Pote plástico (500 ml) inserido dentro da garrafa pet (2 litros) cortada ao meio. 6.c Garrafa pet (2 litros) cortada ao meio contendo pote plástico (500 ml) e funil.

4.2.2 Época de coleta

Após 07 dias de instaladas as armadilhas no campo procederam-se com as coletas dos invertebrados epígeos. As coletas foram realizadas no verão – final do período chuvoso (março de 2016), e no inverno – início do período seco (julho de 2016) (Figura 7).

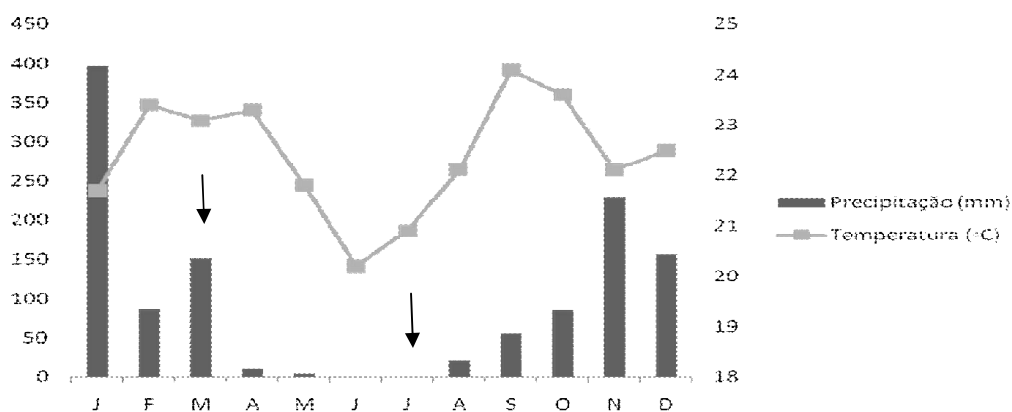


Figura 7. Precipitação total (barras) e temperaturas médias (linha) referentes ao ano de 2016, no Distrito Federal, e respectivos meses (final de março e início de julho) nos quais foram realizadas as coletas de solo, serapilheira e invertebrados epígeos na área experimental (setas).
Fonte: INMET (2016).

4.2.3 Armazenamento das amostras

Os organismos coletados foram armazenados em potes plásticos de 500 ml contendo solução de álcool 70% para conservação dos invertebrados coletados, devidamente tampados e identificados. As amostras foram encaminhadas ao laboratório de Microbiologia de Solos da UnB para separação, contagem, identificação e classificação dos organismos em grandes grupos taxonômicos ao nível de ordem.

4.2.4 Identificação, classificação e avaliação dos invertebrados epígeos

A classificação dos organismos da fauna do solo nos estudos enfocando avaliar os grupos taxonômicos, em geral são apresentados quanto a classe-ordem-família que pertencem, podendo também ser identificados quanto ao seu papel funcional ecológico ou hábitos alimentares, como : predadores, detritívoros, saprófagos, transformadores de serapilheira, dentre outros.

No presente estudo, os organismos coletados foram quantificados e identificados em placas de Petri, com auxílio de lupa binocular e classificados ao nível de ordem, através de consultas realizadas em chaves de identificação de invertebrados disponíveis.

A avaliação dos invertebrados epígeos foi realizada, determinando-se o número de indivíduos com base na composição taxonômica (%), o número total de indivíduos capturados na área experimental e o número total de indivíduos capturados por armadilha por período de coleta e por tratamento. Já a avaliação do comportamento ecológico dos invertebrados epígeos, se deu por meio dos dados obtidos nas coletas realizadas por tratamento, nos períodos (chuvoso e seco), e através destes dados calculou-se a riqueza da fauna (S) que corresponde ao número de grupos identificados. O número total de grupos taxonômicos presentes foi avaliado pelos índices de diversidade de Shannon (H') e de dominância de Simpson (D). Para a análise da uniformidade, ou seja, a abundância utilizou-se o índice de Pielou (e). Para os cálculos, foram utilizadas as seguintes fórmulas:

a) Índice de Shannon (H')

$$H' = - \sum p_i (\log p_i)$$

onde:

p_i = valor importância número de grupos (táxons)

log = base 10 ou neperiano

A diversidade H' é essencialmente adimensional. Esse índice considera peso igual entre as espécies (no presente estudo, grupos taxonômicos) raras e abundantes, e quanto maior for H' , significa que maior é a diversidade da população. Pode expressar a riqueza e uniformidade de espécies/grupos taxonômicos numa dada área.

b) Índice de Pielou:

$$J' = H' (\text{observado}) / H' (\text{máximo})$$

onde:

H' máximo é a diversidade máxima possível que pode ser observada se todas as espécies/grupos taxonômicos apresentarem igual abundância.

H' máximo = $\log S$ e S = número total de espécies

Esse índice varia de 0 a 1, onde 1 é a máxima diversidade, ou seja, todas as espécies/grupos taxonômicos são igualmente abundantes.

c) Índice de Simpson

$$D_s = 1 - [\sum ni(ni-1) / N(N-1)]$$

Onde:

n_i = Número de Indivíduos da i -ésima espécie/grupo taxonômico

N = Número total de indivíduos amostrados

p_i = Número de indivíduos da espécie/grupo taxonômico i dividido pelo número total de indivíduos de todas as espécies.

Esse índice varia de 0 a 1, e quanto mais próximo de 1, significa maior a diversidade das espécies/grupos taxonômicos. Mede a probabilidade de dois indivíduos selecionados ao acaso pertencer à mesma família.

4.3 Determinação dos atributos químicos e bioquímicos do solo

Os parâmetros químicos e bioquímicos do solo avaliados foram utilizados como variáveis ambientais e, auxiliaram a explicar a influência dos tratamentos testados na abundância e diversidade dos invertebrados epígeos nas áreas estudadas.

A caracterização química e bioquímica do solo foi realizada a partir de amostras de solo retiradas da camada de 0-10 cm de profundidade, coletadas nos meses de março e julho de 2016, no mesmo dia da retirada das armadilhas do campo.

Com o auxílio de um trado holandês foram coletadas 27 subamostras de solo (01 subamostra, coletada em 06 pontos de cada parcela). Essas subamostras individuais foram misturadas em baldes separados, a fim de compor 09 amostras compostas referente aos 09 tratamentos (T0 a T8).

Depois de coletadas, as amostras foram peneiradas em peneira de malha de 2 mm e divididas em duas partes. Uma parte foi acondicionada em geladeira para análise da biomassa microbiana, a segunda foi seca ao ar, formando a terra fina seca ao ar (TFSA) para as análises de fertilidade do solo.

4.3.1 Procedimentos Analíticos

Foram determinados os seguintes atributos químicos e bioquímicos do solo: acidez ativa (pH CaCl_2), acidez potencial (H+Al), P disponível (Mehlich 1), cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+), carbono orgânico total (COT), carbono da biomassa microbiana (Cmic) e respiração basal (C- CO_2).

As análises bioquímicas foram realizadas nos laboratórios de Microbiologia de Solos da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, pertencente à Universidade de Brasília, e as análises de fertilidade do solo foram realizadas pelo Laboratório Terra (Goiânia – GO).

Com exceções da determinação da respiração basal (C- CO_2) - que foi determinada pelo consumo de oxigênio ou pela emissão de CO_2 segundo ALEF e NANNIPIERI (1995) e da determinação do carbono da biomassa microbiana que utilizou o método fumigação-extração (CFE), conforme descrito por VANCE et al. (1987), todas as demais análises foram realizadas conforme descrito em EMBRAPA (2009).

Nas determinações dos atributos químicos procedeu das seguintes formas: pH com eletrodo em suspensão solo: solução de CaCl_2 0,01 mol L^{-1} ; H+Al com acetato de cálcio a pH 7,0; P disponível e K trocável foram extraídos com solução de Mehlich 1; Ca^{2+} , Mg^{2+} foram extraídos com KCL 1 mol L^{-1} ; para a determinação do carbono orgânico total utilizou-se o método Walkey & Black, sem fonte externa de calor.

4.4 Coleta e determinação da serapilheira

Em cada parcela, próximo às armadilhas do tipo “*pitfall*”, um gabarito de madeira (0,25 m x 0,25 m) foi colocado aleatoriamente, para se coletar e avaliar a produção de quantidade da produção de serapilheira (mg.m^{-2}).

O material coletado foi acondicionado em sacos de papel devidamente identificados e transferidos para uma estufa de circulação de ar forçado, a 65°C, por 24 horas, procedendo-se, posteriormente, com a pesagem da mesma ao atingir a massa constante. As coletas das amostras da serapilheira ocorreram simultaneamente às coletas dos invertebrados epígeos capturados pelas armadilhas “pitfall”.

4.5 Análises estatísticas

4.5.1 Análises univariadas

Para a avaliação dos efeitos da influência da adição de lodo de esgoto, resíduos de poda de árvores e da combinação dos dois resíduos sobre: parâmetros químicos (acidez ativa (pH CaCl₂), acidez potencial (H+Al), P disponível (Mehlich 1) e cátions trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺)) e bioquímicos do solo (carbono orgânico total (COT), carbono da biomassa microbiana (Cmic) e respiração basal (C-CO₂)), bem como para os dados ecológicos referentes à comunidade de invertebrados epígeos, sendo eles: índice de diversidade de Shannon (H'), índice de diversidade de Simpson (D), uniformidade de Pielou (e), riqueza de grupos taxonômicos (S) e densidade de indivíduos (Dens), os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando o esquema fatorial 2x3x2 (resíduo aplicado (lodo de esgoto - lodo e resíduo de poda de árvores - poda), em três doses ((L0, L1 e L2: 0, 270 e 1.080 m³ ha⁻¹); (P0, P1 e P2: 0, 122,5 e 245 t ha⁻¹)), avaliado em duas épocas (período chuvoso e seco)), com 3 repetições.

Para avaliar a relação entre os fatores foram testadas as interações: época*lodo, época*poda, lodo*poda, sendo que para a última interação foi avaliado também o desdobramento das doses de lodo dentro de cada dose de poda. Para as variáveis com efeito significativo das fontes de variação para o teste F (p < 0,05), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2010).

4.5.2 Análises multivariadas

A análise de componentes principais (PCA) é uma análise multivariada exploratória que não fornece dados estatísticos. É o arranjo que melhor representa a distribuição de dados, sendo realizada através da conversão de um conjunto de observações de variáveis possivelmente

correlacionadas num conjunto de valores de variáveis linearmente não correlacionadas, chamadas de componentes principais.

Para avaliar a relação existente entre as variáveis resposta (os grupos taxonômicos de invertebrados epígeos encontrados na área de estudo) com as variáveis ambientais/explicativas (atributos químicos e bioquímicos do solo) utilizou-se métodos multivariados, com o auxílio do programa estatístico Canoco for Windows (LEPS e SMILAUER, 2013). Inicialmente foi realizada uma análise de correspondência ajustada (detrended correspondence analysis - DCA, em inglês) que fornece valores do comprimento do gradiente calculado para cada eixo de ordenação estimado. Quando o valor do comprimento do gradiente do eixo de ordenação 1, que detém a maior porcentagem da variabilidade do conjunto de dados em estudo, é menor do que 3, há uma indicação que este conjunto de dados apresenta uma resposta linear, sendo recomendado a utilização de um modelo de ordenação canônica simples, como a análise de componentes principais. Para essa análise, os dados das variáveis foram transformados $[\log(x + 1)]$, a distância entre os grupos taxonômicos foi utilizada para o escalonamento das coordenadas (scores) das amostras no espaço de ordenação, sendo posteriormente divididos pelo desvio-padrão, fornecendo um diagrama de correlação. Em seguida, as variáveis foram centradas e padronizadas, fazendo todas as variáveis resposta igualmente importantes. As variáveis explicativas são adicionadas e ao final da análise é possível avaliar qual a participação dessas variáveis na variabilidade total do conjunto de dados amostrados

Através da análise multivariada dos dados foi possível analisar todas as variáveis estudadas de maneira simultânea, e dessa forma, identificar uma possível estrutura subjacente ao conjunto de dados e relacionar variáveis respostas (invertebrados epígeos) com as variáveis explicativas / ambientais (atributos do solo). Por meio da PCA foi possível fazer modelos preditivos de forma a explicar melhor a variância dos dados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com as análises dos dados obtidos foi possível observar a existência de alta variabilidade entre os tratamentos. Essa variabilidade pode ser explicada pelo fato dos resíduos utilizados (lodo de esgoto tratado e poda de árvores) serem bastante heterogêneos, tanto químico quanto fisicamente (Tabelas 6 e 7). Além disso, conforme já relatado no item 4.1.1 – Histórico da área deste trabalho, em cada parcela e em cada um dos tratamentos avaliados foram plantadas, aleatoriamente, 10 espécies arbóreas nativas do Cerrado, o que também pode ter contribuído para essa variabilidade. Ressalta-se que os invertebrados epígeos, os solos e a serapilheira foram coletados e analisados conforme preconizado na literatura, porém o sistema estudado é muito variável, o que pode explicar os dados obtidos a seguir.

5.1 Invertebrados epígeos

O número total de invertebrados epígeos capturados pelas armadilhas de queda (pitfall traps), através das coletas realizadas no final do período chuvoso (março/2016) e no início do período seco (julho/2016), foi de 3.796 e 5.347 indivíduos período⁻¹, respectivamente (Tabela 09).

Foram identificados ao todo 17 grupos taxonômicos durante o período chuvoso e 14 durante o período seco, porém, 10 grupos, no período chuvoso, e 08 grupos, no período seco, se destacaram quanto ao número total de indivíduos capturados, representando 99,28 % do total de indivíduos capturados no primeiro período (Aranae, Blattaria, Coleoptera, Dermaptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Isoptera, Lepidoptera, Orthoptera) (Tabela 10) e 99,58% do total de indivíduos capturados no segundo período (Aranae, Blattaria, Coleoptera, Dermaptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Orthoptera) (Figura 08). Alguns autores têm observado que no período de baixa umidade a ocupação do solo pela fauna edáfica tem sido limitada para poucas espécies, estando entre estas as mais resistentes ao déficit hídrico, havendo migração das demais para a subsuperfície do solo ou para outras áreas (BANDEIRA et al., 1998; NUNES et al., 2008; NUNES et al., 2012), o que confirma os resultados encontrados.

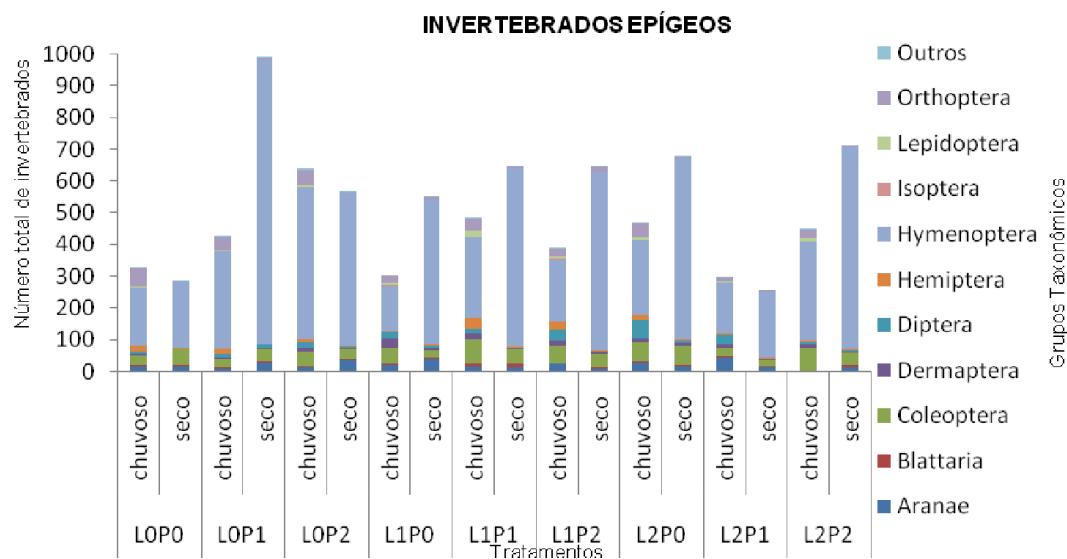


Figura 8. Número total de invertebrados epígeos, por grupo taxonômico, capturados na área degradada (LOP0), em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março/2016) e no período seco (julho de 2016), em Brasília, DF. Alterar gráfico

Dentre os grupos taxonômicos, observou-se que em todos os tratamentos e períodos estudados, a maior quantidade de invertebrados epígeos ocorreram no grupo Hymenoptera, que foi favorecido pela presença elevada dos indivíduos formigas da família Formicidae. Conforme alguns estudos, é comum a alta densidade das formigas na maioria dos ecossistemas (LAVELLE; SPAIN, 2001; WINK et al., 2005; SILVA et al., 2006; LIMA et al., 2010), e isso ocorre por serem organismos importantes na ciclagem de nutrientes e regeneração florestal, e, pela facilidade de coleta e de identificação (SOUZA et al., 2001). Estes organismos são importantes para os processos de decomposição, se adaptam facilmente as condições locais, o que lhes confere ampla ocorrência, que associada aos hábitos alimentares variados, apresentam potencial para atuarem como polinizadores, dispersores de sementes, detritívoros e predadores, participando de forma ativa no equilíbrio de agrossistemas conservacionistas (LOBRY DE BRUYN, 1999). As formigas são cruciais no estudo de áreas degradadas em processo de regeneração (WINK et al., 2005), pois, por apresentarem estreita relação com a vegetação são sensíveis às alterações ambientais exercendo nos ecossistemas papel ecológico importante (SOUZA et al., 2001).

Tabela 9. Número total de invertebrados epígeos capturados na área degradada (L0P0), em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março/2016) e no período seco (julho/2016), em Brasília, DF.

Período chuvoso (março/2016)										
Grupos Taxonômicos	Tratamentos									Total
	L0P0	L0P1	L0P2	L1P0	L1P1	L1P2	L2P0	L2P1	L2P2	
Araneae	20	12	16	25	19	25	33	46	3	199
Blattaria	1	1	1	1	8	0	1	2	0	15
Coleoptera	31	27	47	47	75	56	60	27	70	440
Dermaptera	3	3	11	32	19	15	11	12	14	120
Diptera	8	12	19	20	16	37	58	29	7	206
Hemiptera	21	16	9	3	34	25	15	6	5	134
Hymenoptera	183	307	478	143	254	195	234	158	311	2263
Isoptera	0	0	0	2	0	4	0	0	0	6
Lepidoptera	2	4	5	6	18	6	13	4	10	68
Orthoptera	57	45	48	24	41	24	43	13	25	320
Outros	4	2	6	0	2	1	2	2	6	29
Total	330	429	640	303	486	388	470	299	451	3796
Período seco (julho/2016)										
Grupos Taxonômicos	Tratamentos									Total
	L0P0	L0P1	L0P2	L1P0	L1P1	L1P2	L2P0	L2P1	L2P2	
Araneae	19	29	39	41	14	13	19	15	15	204
Blattaria	1	2	1	4	11	2	3	4	7	35
Coleoptera	50	40	29	23	48	42	62	19	38	351
Dermaptera	0	5	5	7	3	5	5	2	3	35
Diptera	3	9	3	7	1	4	8	5	4	44
Hemiptera	1	0	5	3	2	1	4	1	4	21
Hymenoptera	209	899	481	457	564	564	570	208	637	4589
Orthoptera	5	3	2	9	3	12	3	4	4	45
Outros	1	5	3	3	1	4	6	0	0	23
Total	289	992	568	554	647	647	680	258	712	5347

Em todos os tratamentos e períodos avaliados, o grupo Hymenoptera foi o que tendeu à maior frequência relativa 58,70% (período chuvoso) e 85,14% (período seco). No período chuvoso, a maior frequência relativa deste grupo foi observada no tratamento L0P2 (20,30%) e a menor no tratamento L1P0 (6,07%), já, no período seco, a maior frequência relativa deste grupo foi observada no tratamento L0P1 (19,03%) e a menor se deu em L2P1 (4,40%). A partir desses resultados é possível inferir que as doses de resíduos de poda (122,5 e 245 ton ha⁻¹) favoreceram uma maior frequência de organismos do grupo Hymenoptera, nas duas épocas avaliadas. Observou-se ainda que para esse grupo taxonômico as frequências relativas no período seco foram maiores do que as do período chuvoso (Figura 9).

No período chuvoso, os grupos Coleoptera (11,27%) e Orthoptera (9,35%) sucederam ao grupo Hymenoptera, sendo a maior frequência para o grupo Coleoptera, observada no tratamento

L1P1 (16,59%) e para Orthoptera a maior frequência observada nesse período ocorreu no tratamento L0P0 (15,20%).

Já no período seco, diferente do período chuvoso, os grupos Coleoptera (7,28%) e Araneae (3,75%) apresentaram maiores valores de frequência relativa, após o grupo Hymenoptera. A maior frequência observada no grupo taxonômico Coleoptera ocorreu no tratamento L2P0 (15,34%), e a maior frequência observada no grupo Araneae ocorreu no tratamento L1P0 (19,71%) (Figura 5). Os coleopteros são abundantes nos solos brasileiros, e apesar de algumas famílias serem consideradas como pragas em sistemas agrícolas, SILVA et al. (2012), afirmaram que algumas espécies podem contribuir para a melhoria física e química do solo, além de atuarem na incorporação e decomposição da matéria orgânica (THOMANZINI e THOMANZINI, 2002), sendo considerados como indicadores da qualidade do solo (LAVELLE e SPAIN, 2001). Quanto ao grupo Araneae, CUNHA et al. (2014), ressaltam a importância do manejo orgânico para manutenção das aranhas e seus possíveis papéis funcionais em agroecossistemas, principalmente como predadores, já que podem representar a metade deste grupo nestes ambientes (SILVEIRA et al., 2016).

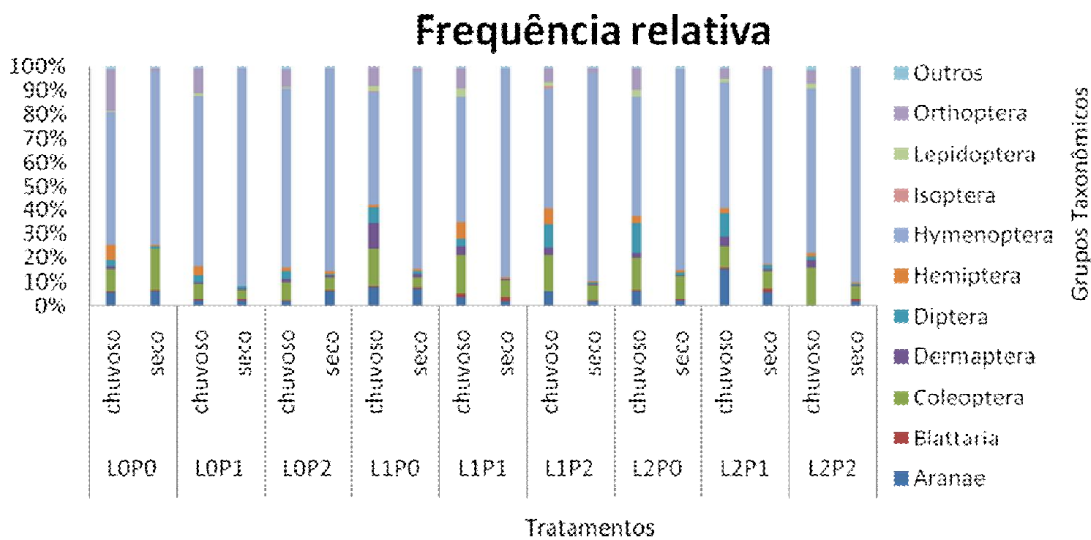


Figura 9. Frequência relativa, por grupo taxonômico, dos invertebrados epígeos capturados na área degradada (L0P0), em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março/2016) e no período seco (julho de 2016), em Brasília, DF.

A dominância de indivíduos nesses respectivos grupos (Hymenoptera e Coleoptera) está possivelmente associada à deposição de serapilheira pelas espécies lenhosas introduzidas no local, que contribuíram para o aumento da disponibilidade de alimentos e para a melhora das condições climáticas do solo (LIMA et al., 2010). Ainda cabe ressaltar, o fato de esses grupos serem adaptados a condições de déficit hídrico no solo, o que permite grande ocorrência deles inclusive no período

seco, como observado também em outros biomas como a Caatinga, onde Formicidae e Coleoptera também representaram os grupos mais abundantes, tanto no período chuvoso como na época seca (NUNES et al., 2008). Nos períodos avaliados os indivíduos do grupo Araneae tenderam a comportamentos ocasionais (5,01% - período chuvoso e 3,75% - período seco). Segundo VICENTE et al. (2010), o grupo funcional predadores está intimamente relacionado com a estabilidade do ecossistema, logo, a baixa ocorrência de predadores, como Araneae e Scorpiones, pode ser um indicativo de que a cadeia trófica de organismos do solo ainda está em processo de restabelecimento na área de recuperação, em estudo.

O grupo taxonômico Hymenoptera, que neste estudo teve como representante em maior número de indivíduos os organismos da família Formicidae (51,75%, no período chuvoso, e, 85,42%, no período seco), foi o grupo taxonômico predominante em todos os tratamentos avaliados, nos dois períodos avaliados. De maneira geral, após o grupo Hymenoptera, foi observado o mesmo comportamento para o grupo Coleoptera. Resultados semelhantes foram encontrados por FERNANDES et al. (2012), ao avaliarem a fauna do solo e área degradada revegetada com *Enterolobium contortisiliquum* no sul do Piauí, através do uso de armadilhas do tipo “pitfall” para captura dos organismos edáficos, em dois períodos de coletas (fevereiro/2012 e setembro/2012). Esses autores observaram que o grupo taxonômico predominante na área revegetada com *Enterolobium contortisiliquum* e na floresta secundária (área de referência) foram os sociais: Formicidae, e que o grupo taxonômico Coleoptera apresentou um alto percentual na área de floresta secundária no período seco.

Destaca-se ainda que entre os períodos avaliados (chuvoso e seco) as frequências relativas foram diferentes entre os grupos de ocorrência e entre os tratamentos nos quais os invertebrados epígeos ocorreram. Segundo NUNES et al. (2012), a umidade em conjunto com substratos orgânicos distintos podem influenciar a presença de um ou de outro grupo taxonômico. Esses autores, ao avaliarem a caracterização da fauna edáfica em sistemas de manejo para produção de forragens no estado do Piauí, através do uso de armadilhas do tipo “pitfall”, em dois períodos de coletas dos organismos edáficos (setembro/2008 e março/2009), verificaram que no período úmido os grupos Hymenoptera e Coleoptera ocorreram com maior expressão, já no período seco houve predominância dos grupos Collembola e Hymenoptera.

As doses de lodo, de poda e a combinação entre as duas fontes de matéria orgânica não promoveram variações significativas para as variáveis ecológicas analisadas: os índices de diversidade de Shannon (H'), de Simpson (D), uniformidade de Pielou (e), a riqueza de grupos taxonômicos identificados (S) e a densidade de indivíduos (número de indivíduos armadilha⁻¹dia⁻¹).

Porém, houve diferença significativa entre os períodos avaliados (chuvoso e seco) para as variáveis ecológicas: índices de diversidade de Shannon (H'), de Simpson (D), uniformidade de Pielou (e) e riqueza de grupos taxonômicos identificados (S). Para essas variáveis, os maiores valores das médias entre os tratamentos avaliados foram observados no período chuvoso (Tabela 10).

Tabela 10. Índices ecológicos dos invertebrados epígeos capturados por armadilhas de queda na área degradada (LOP0), em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março/2016) e no período seco (julho/ 2016), em Brasília, DF.

Tratamentos	Índice de Shannon (H')		Índice de Simpson (D)		Uniformidade de Pielou (e)		Riqueza (S)		Densidade de grupos taxonômicos** (ind/armadilhas/dia)	
	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca
LOP0	1,16	0,92	0,61	0,49	0,57	0,56	8,00	5,33	3,92	3,44
LOP1	1,25	0,55	0,68	0,24	0,70	0,30	7,00	6,33	5,11	11,81
LOP2	1,09	0,69	0,47	0,34	0,50	0,44	9,00	5,33	7,62	6,76
L1P0	1,48	0,80	0,71	0,36	0,76	0,40	7,00	7,33	3,60	6,60
L1P1	1,49	0,51	0,66	0,24	0,66	0,30	9,67	5,33	5,79	7,70
L1P2	1,42	0,57	0,64	0,25	0,69	0,29	8,00	7,00	4,62	7,70
L2P0	1,34	0,94	0,62	0,48	0,64	0,51	8,00	7,00	5,60	8,10
L2P1	1,50	0,79	0,68	0,37	0,68	0,48	9,00	5,33	3,56	3,07
L2P2	1,18	0,53	0,58	0,23	0,66	0,29	7,67	6,67	5,37	8,48
Médias*	1,32a	0,70b	0,63a	0,33b	0,65a	0,40b	8,15a	6,19b	5,02a	7,07a
CV(%)	22,6	45,8	22,8	55,6	22,3	49,2	26,4	17,3	35,6	31,2

*Médias seguidas de letras distintas diferiram estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); *Variável transformada por $(x+1)^{0,5}$.

O período de 25 meses de instalação do processo de recuperação da área degradada em estudo, com a aplicação dos resíduos de lodo de esgoto e poda de árvores, foi insuficiente para detectar mudanças na comunidade de invertebrados epígeos do solo.

A diversidade de espécies vegetais introduzidas em áreas degradadas tende a favorecer a comunidade de organismos da fauna edáfica, por possibilitar uma maior variedade de recursos alimentares devido a deposição da serapilheira, facilitando a co-existência de diferentes grupos taxonômicos, refletindo assim nos índices ecológicos em avaliações da fauna edáfica (BARDGETT et al., 2005; VANBERGEN et al., 2007). Entretanto, esse efeito deve levar em consideração também o tempo de introdução da vegetação na área degradada, como observado por SILVA et al. (2013), na avaliação da fauna edáfica, pelo método do monólito e do funil de Berlese, conduzida após 6 anos de plantio puros ou consorciado de *Eucalyptus camaldulensis* e as leguminosas *Sesbânia virgata* e *Acacia mangium* em uma área degradada pela extração de argila. Nesse estudo, SILVA et al. (2013) verificaram que a consorciação da leguminosa *S. virgata*, tanto com *E.*

camaldulensis como com *A. mangium* favoreceu a abundância total de organismos, bem como apresentou os maiores índices de diversidade de Shannon e de Pielou.

5.2 Produção de serapilheira e parâmetros do solo

A aplicação de doses de lodo de esgoto e de resíduos de poda de árvores promoveu mudanças significativas para a serapilheira e para diversos atributos químicos e bioquímicos do solo (carbono orgânico total, carbono da biomassa microbiana, pH, acidez potencial do solo, potássio e magnésio), na profundidade de 0 – 10 cm, nas duas épocas avaliadas, conforme a seguir (Tabelas 12 a 19).

5.2.1 Serapilheira

A serapilheira é constituída por materiais vegetais depositados na superfície do solo, tais como folhas, cascas, ramos, troncos, gravetos, flores, inflorescências, frutos, sementes, fragmentos vegetais não identificáveis e resíduos animais, sendo as folhas consideradas o seu principal componente (DIAS e OLIVEIRA FILHO, 1997; SPIG et al., 2009).

Na área de estudo, a serapilheira é constituída pela deposição desses materiais sobre o solo produzidos por meio das espécies arbóreas que foram plantadas nas parcelas experimentais, bem como pela vegetação espontânea desenvolvida no local, além de excretas, de material fecal e de organismos mortos, todos em diferentes estágios de decomposição, revestindo superficialmente o solo da área.

Ela representa a reserva central de elementos minerais e orgânicos em ecossistemas florestais e sua decomposição possibilita que os elementos liberados da biomassa vegetal retornem ao solo (MARTIUS et al., 2004), além de permitir a existência de grande variedade de nicho para a fauna e microrganismos através do material orgânico depositado (CUNHA et al., 1993).

No presente estudo, a adição de lodo de esgoto e de resíduos de poda, bem como suas combinações, promoveram mudanças significativas no acúmulo da serapilheira existente na superfície dos tratamentos da área experimental, nas duas épocas avaliadas (Tabela 11).

Tabela 11. Serapilheira (mg m^{-2}) depositada em área degradada (L0P0) em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março/2016) e no período seco (julho de 2016), em Brasília, DF.

Lodo ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	Liteira (mg m^{-2})					
	Chuvoso			Seco		
	Resíduos de poda (t ha^{-1})					
	0	122,5	245	0	122,5	245
0	3,4 aB	15,0 aA	11,3 aA	26,5 bB	66,4 aA	51 abA
270	17,6 aAB	34,9 aA	13,6 aA	109,9 aA	76,9 aA	93,6 aA
1080	27,6 aA	17,1 aA	20,5 aA	103,8 aA	117,4 aA	99,3 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), minúscula na linha e maiúscula na coluna, em cada período (chuvoso e seco).

No período chuvoso, comparando-se as doses de lodo de esgoto, dentro de cada dose de resíduos de poda, verificou-se que na ausência de resíduos de poda (P0), a maior dose de lodo promoveu acúmulo de mais de 711% (L2P0: $27,6 \text{ mg m}^{-2}$) em relação ao tratamento que representa a área degradada (L0P0: $3,4 \text{ mg m}^{-2}$). Para as demais doses de poda (P1 e P2), não foi constatada diferença significativa entre as médias, e nem ao comparar as doses de resíduos de poda dentro de cada dose de lodo de esgoto.

No período chuvoso, a influência da adição dos resíduos sobre o acúmulo da serapilheira na superfície do solo manteve a mesma tendência que no período seco ao se comparar as doses de lodo de esgoto, dentro de cada dose de resíduos de poda. Para esse efeito, na ausência de resíduos de poda (P0) a adição de $270 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ de lodo (L1P0), não diferiu da dose de $1080 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ (L2P0), porém foi a que obteve maior acúmulo de serapilheira em relação ao solo degradado (L0P0). Já nas parcelas com adição de resíduos de poda (P1: $122,5$ e P2: 245 t ha^{-1}), a aplicação de lodo de esgoto não ocasionou variação significativa no acúmulo de serapilheira, com teores médios de $86,9 \text{ mg m}^{-2}$ na dose de $122,5 \text{ t ha}^{-1}$ (P1) e de $81,3 \text{ mg m}^{-2}$ na dose de 245 t ha^{-1} (P2). Ao se comparar as doses de resíduos de poda dentro de cada dose de lodo de esgoto, observou-se que na ausência de lodo (L0), uma dose de resíduos de poda não diferiu da dose 245 t ha^{-1} (L0P2), porém promoveu um aumento de mais de 150% (L0P1: $66,4 \text{ mg m}^{-2}$) no acúmulo de serapilheira em relação à área degradada (L0P0: $26,5 \text{ mg m}^{-2}$).

Houve tendência, em todos os tratamentos, de maior acúmulo de serapilheira no período seco. Esses resultados foram confirmados por ROSA (2010) ao estudar a produção de serapilheira, concentração e acúmulo de nutrientes em povoamento de teca, onde o autor verificou que a maior produção de serrapilheira ocorreu no final do período seco, e a menor deposição na época chuvosa.

Logo, a produção de serrapilheira pode ser afetada por fatores bióticos e abióticos, como o tipo de vegetação, latitude, altitude, precipitação, temperatura, relevo, disponibilidade hídrica,

deciduidade, estágio sucessional, idade, desenvolvimento da planta, características sazonais e genéticas das espécies vegetais, densidade de plantio, características do solo, entre outros, e, dependendo das características de cada ecossistema, um determinado fator pode prevalecer sobre os demais (VITAL et al., 2004).

Na área degradada (L0P0) foi observado o menor valor acumulado da serapilheira em relação aos demais tratamentos, tanto no período chuvoso ($3,4 \text{ mg m}^{-2}$) quanto no período seco ($26,5 \text{ mg m}^{-2}$). Esse resultado era esperado, pois, nas parcelas degradadas o solo encontrava-se sem a presença de matéria orgânica e de nutrientes. Já nos demais tratamentos avaliados houve a incorporação de adubação orgânica (em doses diferentes) por meio da aplicação do lodo de esgoto e resíduos de poda de árvores. Essa incorporação, provavelmente, permitiu que as espécies arbóreas plantadas nesses tratamentos tivessem um melhor desenvolvimento, levando a um acúmulo maior de serapilheira em relação à área degradada (L0P0). Resultados semelhantes foram observados no trabalho realizado por LIRA et al. (2008), ao avaliarem a reciclagem de lodo de esgoto em plantação de eucalipto, encontrando maior acúmulo da serapilheira nos demais tratamentos avaliados em relação à testemunha, que não recebeu doses de adubação convencional e/ou orgânica.

5.2.2 Carbono orgânico total (COT)

A determinação do carbono orgânico total (COT) é uma das formas de se avaliar a matéria orgânica do solo (MOS) (RIBEIRO, 2016).

A adição de lodo de esgoto e de resíduos de poda de árvores, bem como suas combinações, promoveram mudanças significativas no teor de carbono orgânico total, na profundidade de 0-10 cm do solo, nas duas épocas avaliadas (Tabela 12).

No período chuvoso, comparando-se doses de lodo de esgoto, dentro de cada dose de resíduos de poda, verificou-se que na ausência de resíduos de poda (P0), a adição de $270 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de lodo (L1P0), não diferiu da dose de $1080 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (L2P0), porém, em média, promoveram um aumento de mais de 330% no teor de carbono orgânico total em relação ao tratamento que representa a área degradada (L0P0: $8,9 \text{ g kg}^{-1}$). O lodo de esgoto utilizado na área experimental possui 30,92 % de COT sendo reconhecidamente uma fonte de carbono para o solo. Segundo BOYD et al. (1980), o carbono (C) é o elemento em maior concentração nos lodos, o que evidencia a participação expressiva da fração orgânica na massa seca total, com teores de matéria orgânica (MO) entre 18 a 50%, por isso, tem sido recomendado seu uso agrícola como condicionador de solos, principalmente pela possibilidade de manutenção ou aumento do teor de C edáfico

(ALBIACH et al., 2001). Para as demais doses de poda (P1 e P2), não foi constatada diferença significativa.

Tabela 12. Carbono orgânico total (g kg^{-1}) presente em área degradada (L0P0), em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março/2016) e no período seco (julho de 2016), em Brasília, DF.

Lodo ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	Carbono orgânico total (g kg^{-1})					
	Chuvoso			Seco		
	Resíduos de poda (t ha^{-1})					
	0,0	122,5	245	0,0	122,5	245
0	8,9 Bb	36,1 Aa	20,0 Aab	7,4 bB	29,3 aA	21,4 abA
270	34,1 Aa	37,9 Aa	34,1 Aa	17,9 bAB	28,7 abA	33,1 aA
1080	42,7 Aa	64,3 Aa	37,9 Aa	22,41 aA	32,5 aA	31,86 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), minúscula na linha e maiúscula na coluna, em cada período (chuvoso e seco).

Ao se comparar as doses de resíduos de poda dentro de cada dose de lodo de esgoto verificou-se que na ausência de lodo de esgoto (L0), a aplicação de uma dose de resíduos de poda (L0P1: $36,1 \text{ t ha}^{-1}$) não diferiu de duas doses de resíduos de poda (L0P2: $20,0 \text{ t ha}^{-1}$), porém, proporcionou um aumento da ordem de mais de 305% no teor de COT em relação à parcela que representa a área degradada (L0P0: $8,9 \text{ g kg}^{-1}$).

A influência da adição dos resíduos sobre os teores de COT no solo, avaliada no período chuvoso manteve a mesma tendência durante o período seco. Para o efeito das doses de lodo dentro de cada dose de resíduos de poda, na ausência de resíduos de poda (P0) a adição de $1080 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de lodo (L2P0) aumentou o teor de COT em relação ao solo degradado (L0P0), e este por sua vez, não diferiu da dose de $270 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (L1P0). Já nas parcelas com adição de resíduos de poda (P1: $122,5 \text{ t ha}^{-1}$ e P2: 245 t ha^{-1}), a aplicação de lodo de esgoto não ocasionou variação significativa no teor de COT, com teores médios de $30,2 \text{ g kg}^{-1}$ na dose de $122,5 \text{ t ha}^{-1}$ (P1) e de $28,8 \text{ g kg}^{-1}$ na dose de 245 t ha^{-1} (P2).

Já a avaliação da influência das doses de poda dentro que cada dose de lodo de esgoto, apenas na maior dose de lodo (L2: $1080 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), a adição de resíduos de poda não promoveu variação significativa no teor de COT do solo. Na ausência de lodo de esgoto, a adição de $122,5 \text{ t ha}^{-1}$ de resíduos de poda (L0P1) promoveu um aumento de cerca de 190% no teor de COT em relação à área degradada (L0P0), não diferindo da maior dose de resíduos de poda (L0P2), semelhante ao observado no período chuvoso. Na dose de $270 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de lodo de esgoto, o teor de

COT aumentou cerca de 90% com a adição de 245 t ha⁻¹ de resíduos de poda (L1P2), em relação ao tratamento que não recebeu resíduos de poda (L1P0).

O menor teor do carbono orgânico total entre os tratamentos e os períodos avaliados foi verificado na área degradada – L0P0 (8,9 g kg⁻¹, no período chuvoso) e (7,4 g kg⁻¹, no período seco), resultado também verificado para o acúmulo da serapilheira. Segundo SALTON et al. (2005), as alterações no estoque de carbono do solo são influenciadas pela fração particulada da MOS, cuja dinâmica é regulada principalmente pela disponibilidade de palha (resíduos vegetais) na superfície do solo.

Nos resultados encontrados houve tendência de aumento no teor do COT, nos dois períodos avaliados, para todos os tratamentos estudados em relação à área degradada, e superioridade para esta variável quanto ao tratamento que recebeu duas doses de lodo e uma de resíduo de poda (L2P1), que pode estar contribuindo para o acúmulo de C na camada de 0-10 cm de profundidade do solo, corroborando com os resultados encontrados com FRAGA (2016) para os estudos realizados na mesma área experimental, onde após 15 meses de estabelecimento do experimento verificou-se aumento nos teores da MOS e do carbono orgânico (CO) em todos os tratamentos em relação à área degradada (L0P0), após a aplicação no solo de diferentes doses de resíduos de lodo de esgoto e de poda de árvores, e do plantio de espécies arbóreas do cerrado, sendo que os maiores valores destas variáveis ocorreram nos tratamentos (L2P2 e L2P1).

5.2.3 Carbono da biomassa microbiana (CBM)

O carbono da biomassa microbiana é uma estimativa da massa microbiana viva total do solo (SILVANO, 2011). O aumento desta variável expressa o aumento da biomassa microbiana do solo responsável pela decomposição e mineralização dos resíduos orgânicos, o que favorece a ciclagem de nutrientes e o fluxo de energia no sistema solo-planta-organismos-atmosfera (JENKINSON e LADD, 1981).

Na tabela 14, é possível verificar que o carbono da biomassa microbiana do solo foi afetado de forma diferenciada pela adição dos resíduos, em cada época avaliada. No período chuvoso, ao observar o efeito das doses de lodo de esgoto dentro de cada dose de resíduos de poda, tem-se claro o estímulo promovido pela adição de matéria orgânica sobre a microbiota.

Tabela 13. Carbono da biomassa microbiana (mg N kg^{-1}) presente em área degradada (L0P0), em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março/2016) e no período seco (julho de 2016), em Brasília, DF.

Carbono da biomassa microbiana (mg Cmic kg^{-1})						
Chuvoso				Seco		
Resíduos de poda (t ha^{-1})						
Lodo ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	0,0	122,5	245	0,0	122,5	245
0	30,2 aB	186,3 aA	211,5 aA	69,6 bA	316,2 aA	144,6 abA
270	410,3 aA	471,6 aA	274,2 aA	288,2 aA	211,7 aA	233,1 aA
1080	193,1 aAB	460,9 aA	388,4 aA	177,8 aA	168,2 aA	171,7 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), minúscula na linha e maiúscula na coluna, em cada período (chuvoso e seco).

Para a ausência de resíduos de poda, a aplicação de $270 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de lodo de esgoto aumentou o carbono da biomassa microbiana de $30,2 \text{ mg kg}^{-1}$ para cerca de 400 mg kg^{-1} . Porém, com a adição dos resíduos de poda ($122,5$ e 245 t ha^{-1}) não foi verificado efeito significativo com as doses de lodo de esgoto, e nem ao se comparar o efeito das doses de resíduos de poda dentro de cada dose de lodo, evidenciando uma influência maior da matéria orgânica proveniente do lodo de esgoto sobre o carbono da biomassa microbiana, em comparação ao efeito do resíduo de poda de árvores.

Diferente do observado no período chuvoso, o carbono da biomassa microbiana foi significativamente maior com a adição de $122,5 \text{ t ha}^{-1}$ de resíduo de poda (L0P1), comparado com as demais doses de resíduos de poda (L0P0 e L0P2), na ausência de lodo de esgoto (L0). Tanto para as demais doses de lodo de esgoto, como para a comparação das doses de lodo de esgoto dentro de cada dose de resíduos de poda, não foi constatada diferença significativa entre os tratamentos.

Considerando-se que a escassez de nutrientes pode limitar o crescimento microbiano (MÜLLER et al., 2014), observou-se que na área degradada (L0P0) houve tendência de menor teor desta variável tanto no período chuvoso ($30,2 \text{ mg Cmic kg}^{-1}$) quanto no período seco ($69,6 \text{ mg Cmic kg}^{-1}$) em relação aos demais tratamentos, o que pode explicar este resultado.

Segundo VARGAS E SCHOLLES (2000), a maior quantidade de resíduos na superfície do solo, além de aumentar a disponibilidade de substrato, determina condições de menor variação térmica e temperatura do solo, além de maior disponibilidade de água, favorecendo a biomassa microbiana.

5.2.4 pH do solo

As doses de lodo e poda afetaram significativamente o fator pH do solo na camada de 0-10 cm de profundidade (Tabela 14), para os períodos avaliados (chuvoso e seco), sendo que as doses

L1P0 e L2P0 promoveram a acidificação do solo. Resultado semelhante foi verificado por KITAMURA et al. (2008), que observaram valor de pH menor no tratamento que recebeu lodo de esgoto em comparação aos demais tratamentos.

Tabela 14. pH do solo em área degradada (L0P0), e em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março/2016) e no período seco (julho de 2016), em Brasília, DF.

Lodo (m ³ ha ⁻¹)	pH em CaCl ₂					
	Chuvoso			Seco		
	Resíduos de poda (t ha ⁻¹)					
	0	122,5	245	0	122,5	245
0	5,1 Ba	5,8 aA	5,9 aA	5,2 bA	5,8 aA	5,8 aA
270	4,6 bA	5,5 aA	5,1 aB	4,7 bA	5,6 aA	5,3 aAB
1080	4,6 bA	5,4 aA	5,2 aB	4,7 bA	5,2 aA	4,9 abB

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), minúscula na linha e maiúscula na coluna, em cada período (chuvoso e seco).

No presente estudo, a acidificação do solo após a aplicação do lodo de esgoto pode ser explicada pelo poder acidificante (reações de mineralização do nitrogênio orgânico, à provável oxidação de sulfitos e à produção de ácidos orgânicos) ocasionado pela biodecomposição da matéria orgânica (SIMONETE et al., 2003). No processo de nitrificação, $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ através das bactérias nitrossomonas e nitrobacter, respectivamente, liberam-se íons H^+ para a solução do solo. Quanto maior for a dosagem do lodo, que é rico em NH_4^+ , maior a liberação de H^+ para a solução do solo (LOBO et al., 2013). Ao associar doses de lodo de esgoto com resíduos de poda de árvores verificou-se que houve aumento no pH do solo, essa associação provavelmente limita o processo de mineralização da matéria orgânica pelo aumento da quantidade de carbono no sistema, reduzindo a acidificação do lodo. Resultado semelhante foi encontrado por FREITAS (2014) ao estudar lodo de esgoto e adubos verdes na recuperação de área degradada do cerrado.

5.2.5 Acidez potencial do solo (H + Al)

As doses de lodo e poda afetaram significativamente a acidez potencial do solo na camada de 0-10 cm de profundidade (Tabela 15), nos períodos avaliados (chuvoso e seco). Observou-se que, no período chuvoso, na ausência de resíduos de poda, as doses de lodo (270 e 1080 m³ ha⁻¹ – L1P0 e L2P0), em média, promoveram um aumento da ordem de mais de 150% no teor da acidez potencial do solo, em relação à parcela que representa a área degradada (L0P0: 1,8 cmolc dm⁻³). No período seco, em média, houve aumento de 200% no teor da acidez potencial do solo, em relação à

parcela que representa a área degradada (L0P0: 1,2 cmolc dm⁻³), ao se combinar duas doses de resíduos de poda (245 t ha⁻¹) às doses de lodo (270 e 1080 m³ ha⁻¹ – L1P2 e L2P2), respectivamente.

Tabela 15. Acidez potencial do solo em área degradada (L0P0), e em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março/2016) e no período seco (julho de 2016), em Brasília, DF.

Acidez Potencial - H + Al (cmolc dm ⁻³)						
Chuvoso				Seco		
Resíduos de poda (t ha ⁻¹)						
Lodo (m ³ ha ⁻¹)	0	122,5	245	0	122,5	245
0	1,8 aB	1,4 aB	1,6 aB	1,2 aB	1,4 aA	1,2 aB
270	4,0 aA	2,7 aAB	3,3 aAB	3,2 aAB	2,2 aA	3,3 aA
1080	5,1 aA	3,7 aA	4,1 aA	3,7 aA	3,3 aA	3,9 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), minúscula na linha e maiúscula na coluna, em cada período (chuvoso e seco).

Verificou-se que no processo de recuperação do solo com a aplicação de lodo (L1P0 e L2P0 – período chuvoso) ou a aplicação associada de lodo com resíduos de poda (L1P2 e L2P2 – período seco), em relação ao solo degradado, houve diminuição no valor do pH e aumento na acidez potencial do solo, confirmando os resultados obtido por GOMES et al. (2005), ao aplicarem doses crescentes de lodo de esgoto. A aplicação de 60 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto, associado ao plantio de *Astronium fraxinifolium* e *Brachiaria decumbens* também promoveu aumento da acidez potencial na camada de 0 – 10 cm (KITAMURA et al., 2008).

Segundo OLIVEIRA (2015), a adição do lodo promove a acidificação do solo, processo que provavelmente ocorre devido à degradação biológica da matéria orgânica presente no lodo, pois, neste processo de oxidação, o CO₂ liberado pode reagir com a água, havendo a formação do ácido carbônico, que, ao dissociar-se libera prótons para a solução do solo, promovendo a acidificação deste. De acordo com FREITAS (2014), o lodo apresenta grande potencial de acidificação do solo devido aos altos teores de matéria orgânica, e sua aplicação em áreas degradadas deve ser acompanhada de corretivos de acidez do solo.

5.2.6 Teores de Potássio, Magnésio e Fósforo

As doses de lodo e poda afetaram significativamente o teor de potássio (K⁺) no solo na camada de 0-10 cm de profundidade (Tabela 16), no período seco.

Tabela 16. Potássio trocável presente em área degradada (L0P0), em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março/2016) e no período seco (julho de 2016), em Brasília, DF.

Potássio trocável - K ⁺ (cmolc dm ⁻³)						
Chuvoso			Seco			
Resíduos de poda (t ha ⁻¹)						
Lodo (m ³ ha ⁻¹)	0	122,5	245	0	122,5	245
0	0,09 aA	0,17 aB	0,17 aA	0,05 aB	0,19 bB	0,15 bA
270	0,13 aA	0,27 aAB	0,19 aA	0,29 aA	0,20 abAB	0,16 bA
1080	0,15 aA	0,28 aA	0,21 aA	0,18 bA	0,26 aA	0,23 abA

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), minúscula na linha e maiúscula na coluna, em cada período (chuvoso e seco).

Comparando-se as doses de lodo de esgoto, dentro de cada dose de resíduos de poda, verificou-se que na ausência de resíduos de poda (P0), a doses de lodo (270 e 1080 m³ ha⁻¹) não diferiram entre si, e, em média, promoveram, um aumento de mais de 300% em relação ao tratamento que representa a área degradada (L0P0: 0,05 cmolc dm⁻³), quanto ao teor do potássio. Já nas parcelas com adição de resíduos de poda (P1: 122,5 e P2: 245 t ha⁻¹), a aplicação de lodo de esgoto não ocasionou variação significativa no teor desta variável.

Ao se comparar as doses de resíduos de poda dentro de cada dose de lodo de esgoto verificou-se que na ausência de lodo de esgoto (L0), a aplicação de uma e de duas doses de resíduos de poda (122,5 e 245 t ha⁻¹) não diferiram entre si, e, em média, proporcionaram um aumento da ordem de mais de 200%, no teor de K⁺, em relação à parcela que representa a área degradada (L0P0: 0,05 cmolc dm⁻³). Nas parcelas com adição de lodo (L1: 270 e L2: 1080 m³ ha⁻¹), a aplicação de resíduos de poda não ocasionou variação significativa no teor de potássio.

SIMONETE et al. (2003), ressaltam que o lodo de esgoto é um resíduo que apresenta baixa concentração de K⁺, tornando-se necessário a complementação deste nutriente ao solo, quando se objetiva o fornecimento desse nutriente às plantas. Entretanto, no presente trabalho, foram encontradas médias concentrações de K⁺, quando aplicado o lodo de esgoto. Resultados distintos foram encontrados por OLIVEIRA (2015), que ao avaliar o efeito do lodo de esgoto e de plantas de cobertura na recuperação de uma área degradada em Brasília-DF, encontrou elevadas concentrações de K⁺, quando aplicado o lodo de esgoto. Já KITAMURA et al. (2008), ao estudarem a recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto verificaram que os teores de K⁺ foram considerados baixos.

As doses de lodo e poda afetaram significativamente o teor de magnésio (Mg²⁺) no solo na camada de 0-10 cm de profundidade (Tabela 17), nos períodos avaliados (chuvoso e seco).

Tabela 17. Magnésio trocável presente em área degradada (LOP0), em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março/2016) e no período seco (julho de 2016), em Brasília, DF.

Magnésio trocável - Mg^{2+} (cmolc dm^{-3})						
Lodo ($m^3 ha^{-1}$)	Chuvoso			Seco		
	Resíduos de poda ($t ha^{-1}$)					
	0	122,5	245	0	122,5	245
0	0,3 aA	0,5 aB	0,7 aA	0,2 bA	0,5 abB	0,7 aA
270	0,3 bA	1,3 aA	0,8 aA	0,3 bA	0,9 aA	0,5 aA
1080	0,4 aA	1,0 aA	0,7 aA	0,4 aA	0,7 aAB	0,8 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), minúscula na linha e maiúscula na coluna, em cada período (chuvoso e seco).

No período chuvoso, ao se aplicar uma dose de resíduo de poda ($122,5 t ha^{-1}$) observou-se que as doses de lodo (L1: $270 - L1P1$ e L2: $1080 m^3 ha^{-1} - L2P1$) não diferiram entre si, e, em média, promoveram, um aumento de mais de 100% em relação ao tratamento que representa a área degradada (LOP0: $0, 5 cmolc dm^{-3}$), quanto ao teor de magnésio. Já nas parcelas com ausência ou adição de duas doses de resíduos de poda (P0 e P2: $245 t ha^{-1}$), a aplicação de lodo de esgoto não ocasionou variação significativa no teor desta variável.

Verificou-se ainda que nesse período, ao se aplicar uma dose de lodo, as doses de resíduos de poda (P1: $122,5 - L1P1$ e P2: $245 t ha^{-1} - L1P2$) não diferiram entre si, e, em média, proporcionaram um aumento da ordem de mais de 200%, no teor de Mg^{2+} , em relação ao tratamento que representa a área degradada (LOP0: $0,3 cmolc dm^{-3}$).

No período seco, ao se aplicar uma dose de lodo, as doses de resíduos de poda (P1: $122,5 - L1P1$ e P2: $245 t ha^{-1} - L1P2$) não diferiram entre si, e, em média, proporcionaram um aumento da ordem de mais de 100%, no teor de Mg^{2+} , em relação ao tratamento que representa a área degradada (LOP0: $0,3 cmolc dm^{-3}$). Para os demais tratamentos, não houve diferença significativa.

No presente estudo, nos dois períodos avaliados, a aplicação de uma dose de lodo em associação a uma ou duas doses de resíduos de poda promoveu incremento no teor de Mg^{+2} em relação à área degradada, confirmando os resultados encontrados por FREITAS (2014), BEZERRA et al. (2006), COLODRO et al. (2006), TEIXEIRA et al. (2007), RICCI et al. (2010) e BONINI et al. (2015).

As doses de lodo e poda afetaram significativamente o teor de fósforo no solo na camada de 0-10 cm de profundidade (Tabela 18), nos períodos avaliados (chuvoso e seco).

Tabela 18. Teor de Fósforo presente em área degradada (L0P0), em processo de recuperação, no final do período chuvoso (março/2016) e no período seco (julho de 2016), em Brasília, DF.

Lodo (m ³ ha ⁻¹)	Fósforo disponível (mg dm ⁻³)					
	Chuvoso			Seco		
	Resíduos de poda (t ha ⁻¹)					
	0	122,5	245	0	122,5	245
0	37,3 aB	29,0 aB	16,0 aB	6,5 bB	11,0 bB	160,0 aA
270	227,3 aA	193,33 aA	210,0 aA	203,33 aA	166,7 aA	176,7 aA
1080	220,0 aA	206,7 aA	230,0 aA	110,3 aA	186,7 aA	216,7 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), minúscula na linha e maiúscula na coluna, em cada período (chuvoso e seco).

No período chuvoso, observou-se que na ausência e com a adição de uma e duas doses de resíduo de poda (0, 122,5 e 245,0 t ha⁻¹) as doses de lodo (270 e 1080 m³ ha⁻¹) não diferiram entre si, e, em média, promoveram, um aumento de mais de 472%, 589% e 1270%, respectivamente, em relação ao tratamento que representa a área degradada (L0P0: 37,3 mg dm⁻³; L0P1: 29,0 mg dm⁻³ e L0P2: 16,0 mg dm⁻³), quanto ao teor de fósforo. Não houve diferença significativa em relação às doses de lodo dentro de cada dose de resíduo de poda.

No período seco, verificou-se que na ausência e ao se aplicar uma dose de resíduo de poda (0 e 122,5 t ha⁻¹) as doses de lodo (270 e 1080 m³ ha⁻¹) não diferiram entre si, e, em média, proporcionaram um aumento da ordem de mais de 2312% e 1506% no teor de fósforo, em relação ao tratamento que representa a área degradada (L0P0: 6,5 mg dm⁻³ e L0P1: 11,0 mg dm⁻³). Nesse mesmo período, observou-se também que na ausência de lodo, as doses de resíduos de poda (0 e 122,5 t ha⁻¹) não diferiram entre si, e duas doses de resíduos de poda (245 t ha⁻¹), proporcionou aumento da ordem de mais 2361% nesta variável, em relação ao tratamento que representa a área degradada ((L0P0: 6,5 mg dm⁻³).

Os resultados demonstraram que o lodo por si só é capaz de fornecer ao solo grande quantidade de Fósforo, esse resultado já era esperado já que é um resíduo que apresenta presença elevada deste nutriente em sua composição (MODESTO et al., 2009).

Apesar dos resultados encontrados por FREITAS (2014) indicarem que o fornecimento de P ter sido mais dependente do LE do que do adubo verde, mediante aos resultados encontrados no presente estudo, pôde-se afirmar que a aplicação de lodo de esgoto associado aos resíduos de poda proporcionou elevação nos teores de fósforo na camada de 0-10 cm de profundidade. Resultados semelhantes foram encontrados por OLIVEIRA (2015), que ao estudar o efeito do lodo de esgoto e de plantas de cobertura na recuperação de uma área degradada em Brasília-DF, verificou que nas áreas sob aplicação de lodo de esgoto e, principalmente, associadas às leguminosas, os teores de

fósforo foram extremamente elevados, principalmente na camada de 0-10 cm. Porém, resultados distintos foram encontrados por FRAGA (2016) ao afirmarem que os resíduos vegetais, utilizados nos tratamentos, mostraram-se pobres em P e parecem ter contribuído para a diminuição dos teores deste nutriente nos tratamentos com combinações de lodo e poda (por exemplo, L2P2).

COLODRO et al. (2006), afirmam que tendo em vista o elevado teor de matéria orgânica, o LE pode reduzir a fixação do P por óxidos de ferro, pois os radicais orgânicos competem pelos sítios de absorção do P, aumentando os teores de P em formas disponíveis para as plantas, logo, aplicação de LE representa uma excelente alternativa para fornecimento de P, nutriente tão escasso em solos do Cerrado e fundamental para a revegetação de áreas degradadas (FREITAS, 2014).

Em uma avaliação geral dos resultados obtidos, verificou-se que a aplicação conjunta de lodo de esgoto e resíduos de poda de árvores em solo degradado, associado ao plantio de mudas de espécies arbóreas nativas e exóticas, promoveu o aumento da deposição de serapilheira, bem como o aumento dos teores de carbono orgânico total e carbono da biomassa microbiana.

A aplicação de lodo de esgoto em dose de até 1080 m³ ha⁻¹ favoreceu o aumento da acidez ativa e potencial do solo, possivelmente relacionada com o estímulo que esse resíduo promoveu na mineralização de nutrientes como o nitrogênio (Tabela 7). Para os macronutrientes catiônicos, destaca-se o efeito dos resíduos de poda de árvores, em especial para os teores de potássio e magnésio trocáveis. Já para os teores de fósforo disponível, o efeito mais pronunciado foi para as doses de lodo de esgoto, material muito rico em fósforo (Tabela 7), o que contribuiu para a elevação dos teores desse nutriente nas áreas que receberam esse resíduo em exclusividade ou associado aos resíduos de poda de árvores.

5.3 Relação entre invertebrados epígeos e os atributos do solo

Para melhor compreender a abundância, a diversidade, as relações existentes entre os grupos da fauna edáfica e o manejo do solo, vários autores têm empregado técnica de análise multivariada, pois esta técnica pode fornecer informações importantes para se entender a variação conjunta de variáveis-resposta, facilitando a interpretação dos dados biológicos e bioquímicos do solo (BARETTA et al., 2006; MARCHÃO et al., 2009; LIMA et al., 2010; NUNES et al., 2012).

No período chuvoso, a análise de componentes principais (ACP) da comunidade de invertebrados epígeos do solo, com a avaliação da influência das variáveis ambientais (atributos químicos e bioquímicos do solo), indicou que 54,4% da variabilidade total dos dados é explicada pela influência dessas variáveis de solo. Dessa variabilidade, 34,7% é explicada pela componente

principal 1 e 19,7 % pela componente principal 2 (Figura 10). As variáveis ambientais que apresentaram maior contribuição para a variabilidade dos grupos de invertebrados epigeos identificados foram: carbono da biomassa microbiana, alumínio trocável, acidez ativa, respiração basal, liteira, carbono orgânico total, potássio trocável e fósforo disponível. No gráfico é possível observar que estas variáveis estão representadas por vetores em linhas tracejadas.

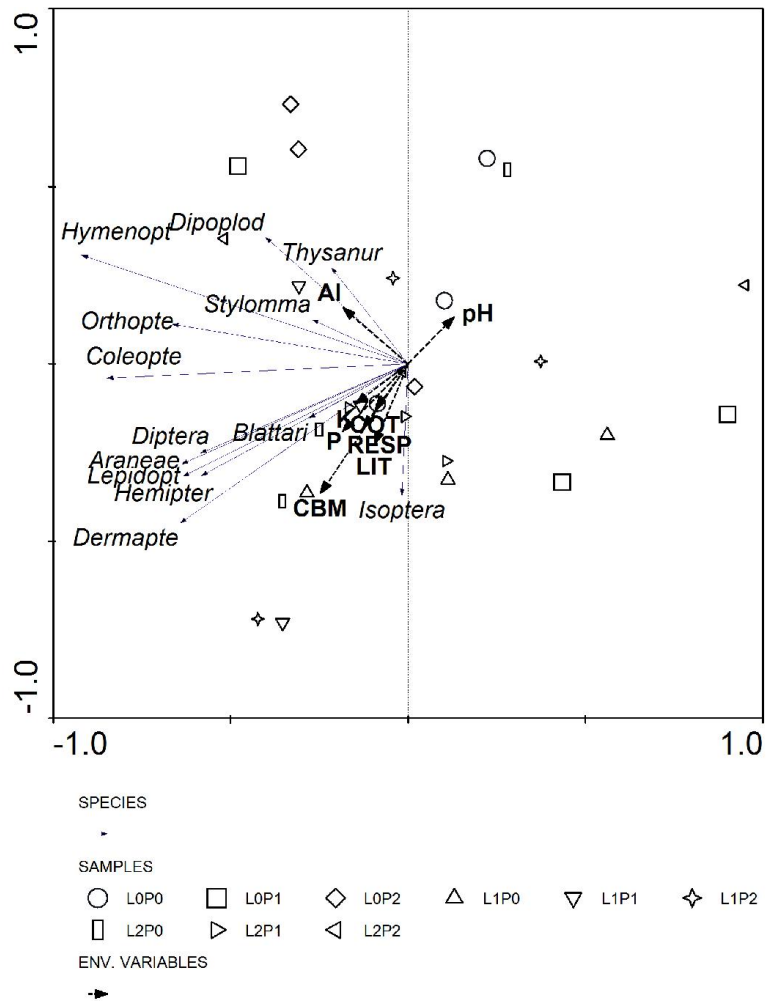


Figura 10. Análise de componentes principais dos grupos de invertebrados epigeos do solo, avaliados por armadilhas de fuga instaladas em área degradada, em processo de recuperação, no período chuvoso (março de 2016), em Brasília, DF. (species = grupos taxonômicos de invertebrados epigeos: Araneae, Blattaria, Coleoptera, Dermaptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Isoptera, Lepidoptera, Orthoptera, Thysanura, Diplopoda, Stylommatophora, Densidade de indivíduos, Riqueza de grupos; env. Variables = carbono orgânico total-COT, carbono da biomassa microbiana-CBM, respiração basal-RESP, liteira-LIT, potássio trocável-K, fósforo disponível-P, alumínio trocável-Al).

A componente principal 1 separou as parcelas de área degradada (L0P0), bem como as parcelas que receberam uma dose de lodo e de poda (L1P0, L0P1) dos demais tratamentos. Pelo

exposto no gráfico é possível inferir que nestas áreas a variabilidade dos grupos taxonômicos de invertebrados epígeos foi abaixo da média geral dos dados observados.

Os grupos taxonômicos Blattaria, Diptera, Araneae, Lepidoptera, Hemiptera e Dermaptera encontraram-se associados aos tratamentos com as maiores doses de lodo (L2P1 e L2P0), onde também foram observados valores acima da média geral dos dados para os atributos do solo, exceto Al e pH, destacando-se os teores de respiração basal, carbono da biomassa microbiana, potássio trocável e fósforo disponível.

Diplopoda, Thysanura e Stylommatophora apresentaram maior variabilidade nos tratamentos que receberam resíduos de poda de árvore (L0P2, L1P1 e L1P2) e estiveram associados com os maiores teores de alumínio trocável na camada de 0-10 cm de solo. Já os grupos Hymenoptera, Orthoptera e Coleoptera foram os grupos com maior densidade de indivíduos (Tabela 10) e apresentaram maior variabilidade nos tratamentos que receberam doses combinadas de lodo e poda.

A sazonalidade influenciou a comunidade de invertebrados epígeos do solo, na área degradada e em processo de recuperação, em função da aplicação de doses de matéria orgânica via lodo e resíduos de poda de árvores, fato evidenciado pela análise de componentes principais com a avaliação da influência das variáveis ambientais (atributos químicos e bioquímicos do solo), da amostragem realizada no período seco (Figura 11). A análise indicou que 50,3% da variabilidade total dos dados é explicada pela influência dessas variáveis de solo. Dessa variabilidade, 35,3% é explicada pela componente principal 1 e 15% pela componente principal 2.

Nesse período, as variáveis ambientais de maior contribuição para a variabilidade dos grupos de invertebrados epígeos foram: potássio trocável, a respiração basal, o fósforo disponível, o carbono orgânico do solo, carbono da biomassa microbiana e a liteira (serapilheira). Os grupos taxonômicos de invertebrados epígeos que apresentaram maior variabilidade foram: Hymenoptera, Orthoptera, Araneae e Lepidoptera.

A componente principal 1 separou basicamente dois grupos. Ao lado esquerdo do gráfico, observa-se um grupo formado pelos tratamentos que receberam as maiores doses de lodo, sem poda ou com uma dose de poda (L2P0 e L2P1), incluindo parcelas de área degradada (L0P0) e, do lado direito do gráfico observa-se a dominância dos tratamentos que receberam poda e aqueles que receberam combinações de doses de lodo e de resíduos de poda de árvore (L0P1, L0P2, L1P1, L1P2, L2P2). A área degradada esteve associada com a maior abundância do grupo Coleoptera e menor abundância de indivíduos dos grupos Hymenoptera e Hemiptera, com valores próximos a

média geral de todos os tratamentos para os demais grupos taxonômicos. Os grupos Hemiptera e Blattaria encontraram-se associados com os maiores teores de P disponível e K trocável, bem como de carbono orgânico total, observados principalmente nos tratamentos que receberam doses de lodo, combinado com uma ou duas doses de resíduos de poda (L1P1, L2P1 e L2P2).

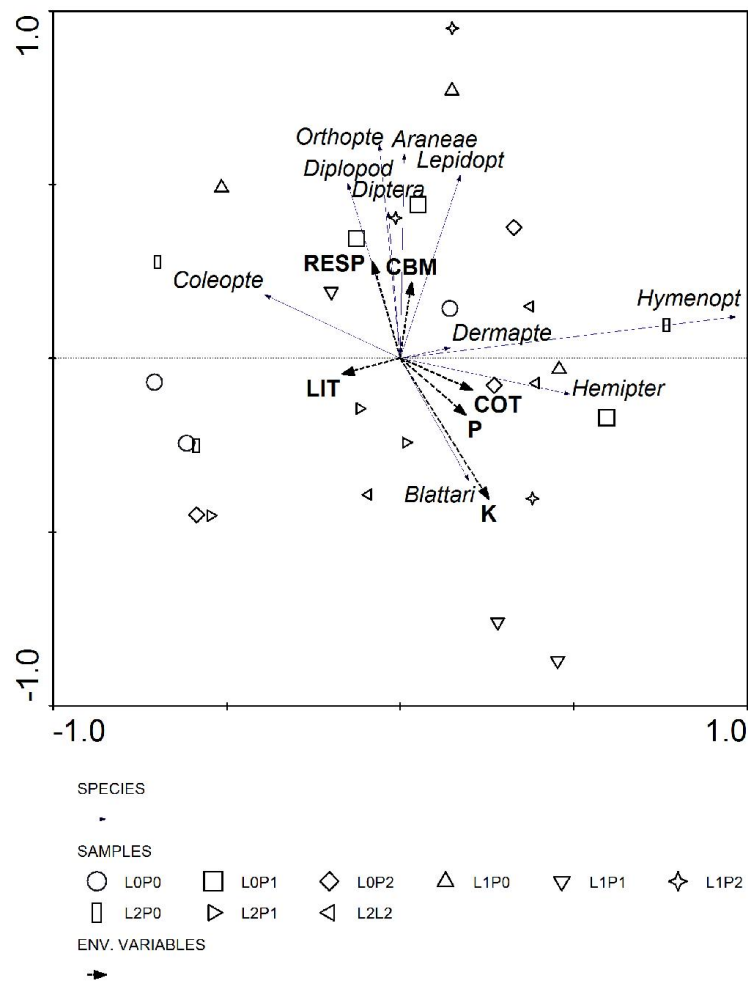


Figura 11. Análise de componentes principais dos grupos de invertebrados epígeos do solo, avaliados por armadilhas de fuga instaladas em área degradada, em processo de recuperação, no período seco (julho de 2016), em Brasília, DF. (species = grupos taxonômicos de invertebrados epígeos: Araneae, Blattaria, Coleoptera, Dermaptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Isoptera, Lepidoptera, Orthoptera, Thysanura, Diplopoda, Stylommatophora, Densidade de indivíduos, Riqueza de grupos; env. Variables = carbono orgânico total-COT, carbono da biomassa microbiana-CBM, respiração basal-RESP, liteira-LIT, potássio trocável-K, fósforo disponível-P).

Do lado direito do gráfico tem-se o agrupamento dos tratamentos que receberam a aplicação de resíduos de poda de árvores (L0P1 e L0P2), o tratamento que recebeu uma dose de lodo (L1P0) e a combinação do dobro da dose de lodo e de resíduos de poda de árvores (L2P2). Esses tratamentos

apresentaram de um modo geral, a densidade de indivíduos acima da média de todos os tratamentos, para a maioria dos grupos taxonômicos de invertebrados epígeos, exceto para o grupo Coleoptera.

A análise de componentes principais possibilitou observar uma estrutura subjacente aos dados, indicando que a aplicação combinada de lodo e resíduos de poda de árvores, após 25 meses, promoveu mudanças nos atributos do solo e, conjuntamente, influenciou a comunidade de invertebrados epígeos do solo, favorecendo a presença desses organismos no ambiente, tanto no período chuvoso quanto no período seco.

6. CONCLUSÃO

1. A aplicação combinada de doses de lodo de esgoto e de resíduos de poda de árvores após 25 meses de instalação do experimento promoveu melhoras nos atributos químicos e biológicos do solo degradado em processo de recuperação, favorecendo a produção de serapilheira e estimulando o aumento da diversidade, densidade e riqueza de grupos taxonômicos dos invertebrados epígeos do solo, para as duas épocas avaliadas.
2. A diversidade, dominância, uniformidade e riqueza de espécies dos grupos taxonômicos dos invertebrados epígeos variaram com a época de coleta, e foram favorecidas na época chuvosa.
3. Em todos os tratamentos avaliados e na área degradada, a ordem Hymenoptera foi quem apresentou maior densidade de indivíduos, nos dois períodos avaliados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBIACH, R.; CONET, R.; POMARES, F.; INGELMO, F. Organic matter componets, aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during tem years. **Bioresouce Technology**, v.77, n.2, p.109-114, 2001.

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

ALMEIDA, L. M.; RIBEIRO-COSTA, C. S. R.; MARINONI, L. **Manual de coleta, conservação, montagem e identificação de insetos**. Ribeirão Preto: Holos, 2003. 88p. (Séries Manuais Práticos em Biologia).

ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. Recuperação de área degradada por construção de hidroelétrica com adubação verde e corretivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 2505-2516, 2008.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um latossolo vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.617-625, 2007.

ANDERSON, J.M. & INGRAM J.S.I. **Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods**. 2.ed. Wallingford, CAB International, 1993. 171p.

AQUILAR, R.; LOFTIN, S.R.; FRESQUEZ, P.R. **Rangeland restoration with treated municipal sewage sludge**. 1994. p. 211-220.

AQUINO, A. M. **Manual para macrofauna do solo**. Seropédica: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA Agrobiologia, 2001, 21p. (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-CNPAB. Documentos, 130).

ASSAD, M. L. L. Fauna do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M., Eds: **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-CPAC, 1997. 524p.

BANDEIRA, A. G.; HARADA, A. Y. Densidade e distribuição vertical de macroinvertebrados em solos argilosos e arenosos na Amazonia central. **Acta Amazônica**, v. 28, n. 02, p.191-204, 1998.

BARBOSA, A. C. C. **Recuperação de área degradada por mineração através da utilização de sementes e mudas de três espécies arbóreas do Cerrado, no Distrito Federal**. 2008. 88p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília.

BARDGETT, R.D.; BOWMAN, W.B.; KAUFMANN, R. & SCHMITD, T.S.K. A temporal approach to linking aboveground and belowg round ecology. **Trends Ecol. Evol.**, 20:634-641, 2005.

BARETTA, D.; MAFRA, A.L.; SANTOS, J.C.P.; AMARANTE, C.V.T. & BERTOL, I. Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1675-1679, 2006.

BARETTA, D.; BROWN, G.G.; JAMES, S.W.; CARDOSO, E.J.B.N. Earthworm populations sampled using collection methods in Atlantic forests with *Araucaria angustifolia*. **Scientia Agricola**, v.64, p.384-392, 2007.

BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; SEGAT, J.C.; GEREMIA, E.V.; OLIVEIRA FILHO, L. C.L.; ALVES, M.V. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: KLAUBER FILHO, O.; MAFRA, A.L.; GABITONI, L.C. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. v.7, p.141-192.

BARTZ, M.L.; BROWN, G.G.; PASINI, A.; FERNANDES, J.O.; CURMI, P.; DORIOZ, J.; RALISCH, R. Earthworm communities in organic and conventional coffee cultivation. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p.928-933, 2009.

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 Ciências do Solo**, v. 38, p. 797-809, 2014.

BATISTA, L.F. **Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final**. 2015. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, Brasília.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA Meio Ambiente, Cap. 2, 2000. p. 25-34.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola. **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna, SP. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA Meio Ambiente, Cap. 2, 2006. p. 25-35.

BEZERRA, F. B.; OLIVEIRA, M. A.; PEREZ, D. V.; MENEGUELLI, A. G. Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v.41, n.3, p.469-476, 2006.

BONINI, C.S.B.; ALVES, M.C.; MONTANARI, R. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2015. v.19, p.388-393.

BOYD, S.A.; SOMMERS, L.E.; NELSON, D.W. Changes in the humic acid fraction of soil resulting from sludge application. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.1179- 1186, 1980.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro, Prentice-Hall Editors, 1989. 434p.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) e dá outras providências.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 375, de 29 de julho de 2006.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>. 20 Out. 2015.

BROWN, G.G. How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity? **Plant and Soil**, v.170, p.209-231, 1995.

BROWN, G.G.; NIVA, C.C.; ZAGATTO, M.R.G.; FERREIRA, S. de A.; NADOLNY, H.S.; CARDOSO, G.B.X.; SANTOS, A.; MARTINEZ, G. de A.; PASINI, A.; BARTZ, M.L.C.; SAUTTER, K.D.; THOMAZINI, M.J.; BARETTA, D.; SILVA, E. da; ANTONIOLLI, Z.I.; DECAËNS, T.; LAVELLE, P.M.; SOUSA, J.P.; CARVALHO, F. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: PARRON, L.M.; GARCIA, J.R.; OLIVEIRA, E.B. de; BROWN, G.G.; PRADO, R.B. (Ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica.** Brasília: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2015. p.121-154.

BROWN, G. Gr; PASINI, A.; BENITO, N. P.; AQUINO, A. M. de; CORREIA, M. E. F. **Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no tillage agroecosystems: a preliminary analysis.** International Symposium on Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems. Montreal, Canadá, 2001. 20 p.

BROWN, G.G. & SAUTTER, K.D. Biodiversity, conservation and sustainable management of soil animals: the XV International Colloquium on Soil Zoology and XII International Colloquium on Apterygota. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1-9, 2009.

CARAMELO, A. D. **Uso de composto de poda de árvore e lodo de esgoto como substratos na formação de mudas de sangra d'água (Croton urucurana Baill.) irrigadas com três lâminas de água.** 2014.106p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

CARTER, M. R. Organic matter and sustainability. In: REES, B.C.; BALL, B.C.; CAMPBELL, C.D. & WATSON, C.A., (Eds.). **Sustainable management of soil organic.** Wallingford: CAB International, 2001, p. 9-22.

CARVALHO, T. A. F. **Mesofauna (Cacari e Collembola) em solo sob cafeeiro e leguminosas arbóreas em duas épocas do ano.** 2014. 71p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CHEN, W.; CHEN, M.; ZHOU, X. Characterization of Biochar Obtained by Co-Pyrolysis of Waste Newspaper with High-Density Polyethylene. **BioResources**. v. 8253, p.8267-8277, 2015.

COLODORO, G.; ESPÍNDOLA, C.R. Alterações na fertilidade de um latossolo degradado em resposta à aplicação de lodo de esgoto. **Acta Scientiarum**. v. 28, p.1-5, 2006.

COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL - Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. **Relatório Técnico de Uso de Lodo de Esgoto** - Objeto: Recuperação das superfícies degradadas próximas à Rodoferroviária de Brasília. Brasília: COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL, 2010, 29 p.

COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL - Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. **Levantamento Florístico.** Recuperação de Áreas Degradadas: Projeto Pátio Ferroviário. Brasília: COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL, 2013.

COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL - Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. **3º Relatório de Operação.** Recuperação de Áreas

Degradadas: Projeto Pátio Ferroviário. Brasília: COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL, 2013.

COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL - Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. **Sistemas de esgotamento**. Disponível em: <http://www.COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL.df.gov.br/esgoto/sistemas-deesgotamento.html>. Acesso em: 20 Set. 2015.

CORRÊA, R. S. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração no cerrado: manual para revegetação**. 2. ed. Brasília: Universa, 2009. 174 p.

CORRÊA, R.S., BENTO, M.A.B. Qualidade do substrato minerado de uma área de empréstimo revegetada no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1435-1443, 2010.

CORRÊA, R. S.; MELO FILHO, B. Aspectos ecológicos da sucessão secundária em áreas mineradas no cerrado. In: CORRÊA, R.S.; BAPTISTA, G. M. M. (Eds.). **Mineração e áreas degradadas no cerrado**. Brasília:Universa, 2004. p.123-158.

CORREIA, M. E. F. Potencial de utilização dos atributos das comunidades de fauna de solo e de grupos chave de invertebrados como bioindicadores do manejo de ecossistemas. Rio de Janeiro: **EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA Agrobiologia**, 2002, 23p. (Documentos, 157). Rio de Janeiro.

CUNHA, G. C. et al. Dinâmica nutricional em floresta estacional decidual com ênfase aos minerais provenientes da deposição da serrapilheira. **Ciência Florestal**, v.3, n.1, p.19-39, 1993.

CUNHA, J. A. S.; BARROS, R. F. M.; MHEL, H. U.; SILVA, P. R. R. Atributos agroecológicos de solo e caracterização de predadores generalistas no cultivo de melancia nos tabuleiros litorâneos do Piauí, BRASIL. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 9, n. 1, p. 269-281, 2014.

DECÄENS, T.; LAVELLE, P.; JIMÉNEZ, J.J.; ESCOBAR, G.; RIPPSTEIN, G.; SCHNEIDMADL, J.; SANZ, J.I.; HOYOS, P.; THOMAS, R.J. Impacto del uso de la tierra en la macrofauna del suelo de los Llanos Orientales de Colombia. In: JIMÉNEZ, J.J.; THOMAS, R.J. (Ed.). *El arado natural: las comunidades de macroinvertebrados del suelo en las savanas neotropicales de Colombia*. Cali, Colombia: **Centro Internacional de Agricultura Tropical**, 2003. p.21-45. (Publicación CIAT, 336). Colombia.

DEVIDE, A. C. P.; CASTRO, C. M. de. Manejo do solo e dinâmica da fauna edáfica. **Pesquisa e Tecnologia**, vol. 5, 2008.

DIAS, H. C. T.; OLIVEIRA FILHO, A. T. Variação temporal e espacial da produção de serapilheira em uma área de floresta estacional semidecídua Montana em Lavras-MG. **Revista. Árvore**, v. 21, n.1, p.11-26, 1997.

DISTRITO FEDERAL. Conselho do Meio Ambiente do Distrito Federal- CONAM. Resolução nº 3 de 18 de julho de 2006. Disciplina o Uso do Lodo de Esgoto no Distrito Federal e dá outras providências. **Diário Oficial do Distrito Federal**, nº 138, Seção 1, p. 10-13, 20 jul. 2006.

DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, Rio de Janeiro, 1997. **Anais**. Rio de Janeiro, Sociedade BRASILEIRA de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.

D'ORAZIO, V.; TRAVERSA, A.; BERTONCINI, E.I.; STEFANUTTI, R.; SENESI, N. Acidi umici estratti da matrici organiche di scarto compostate. In: un clima tropicale. In: Convegno Nazionale Sezione Italiana, 6, **Anais...** Perugia: International Humic Substances Society, 2005, p.41-43.

EMBRAPA INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, 2009. 627 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, 2013. 353 p.

ESPIG, S. A.; FREIRE, F. J.; MARANGON, L. C.; FERREIRA, R. L. C.; FREIRE, M. B. G. S.; ESPIG, D. B. Sazonalidade, composição e aporte de nutrientes da serapilheira em fragmento de Mata Atlântica. **Rev. Árvore**, v. 33, n. 5, 2009.

FERNANDES, M.M.; MAGALHÃES, L.M.S.; PEREIRA, M.G.; CORREIA, M.E.F.; BRITO, R.J.; MOURA, M.R. Influência de diferentes coberturas florestais na fauna do solo na FLONA Mário Xavier no município de Seropédica-RJ. **Floresta**, Curitiba, v.41, p. 533-540, 2011.

FERNANDES, M. M.; FERNANDES, M. R. M.; LIMA, R. P.; CRUZ, N. N. L. Fauna do solo em área degradada revegetada com *Enterolobium contortisiliquum* no sul do Piauí. **Geoambiente on-line**, Jataí, n. 19, 2012.

FERREIRA, A.C.; ANDREOLI, C.V.; JÜRGENSEN, D. Produção e características dos lodo de esgotos. In: **Uso e Manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999, p.16-33.

FERREIRA, D.F. **SISVAR - Sistema de análise de variância**. Versão 5.3. Lavras-MG: UFLA, 2010.

FIALHO, L.L.; FRANCISCO, R.A.; SIMÕES, M.L.; SILVA, W.T.L.; MARTIN-NETO, L. Interferência da lignina na quantificação de radicais livres no processo de compostagem. In: **Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas - EBSH**, 7, 2007, Florianópolis, SC. As substâncias húmicas podem ajudar a salvar o planeta terra? **Livro de resumos...** Florianópolis: EBSH, 2007, p.40.

FIALHO, L.L.; SILVA, W.T.L.D.; MILORI, M.B.P.; SIMÕES, M.L.; NETO, L.M. **Circular Técnica: Monitoramento químico e físico do processo de compostagem de diferentes resíduos orgânicos**. São Carlos: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2005.

FIGUEIREDO, C.C.; RAMOS, M.L.G. & TOSTES, R. Propriedades físicas e matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo e cerrado nativo. **Bioscience Journal**, 24:24-30, 2008.

FRAGA, L.P. **Efeitos da aplicação do lodo de esgoto e resíduos de poda na revegetação de área de empréstimo no Distrito Federal**. 2016. 112 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Ecologia – Instituto de Ciências Biológicas – Universidade de Brasília, Brasília.

FREITAS, T. O. T. **Lodo de esgoto e adubos verdes na recuperação de área degradada: alterações nos atributos químicos e biológicos do solo**. 2014. 39 p. Monografia (Graduação em Agronomia) - Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília.

GODOI, E. L. **Uso agrônomico de lodo de esgoto na recuperação de área degradada: efeito residual**. 2008. 98 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

GOMES, S.B.V.; NASCIMENTO, C.A.; BIONDI, C.M.; ACCIOLY, A.M.A. **Alterações químicas em argissolo tratado com Lodo de esgoto**. **CAATINGA**, Mossoró, v.18, n.3, p.185- 194, jul./set. 2005.

- HOFFMANN, R.B.; NASCIMENTO, M.S.V.; DINIZ, A.A.; ARAÚJO, L.H.A. & SOUTO, J.S. Diversidade da mesofauna edáfica como bioindicadora para o manejo do solo em Areia, Paraíba, BRASIL. **R. Caatinga**, v. 22, p. 121-125, 2009.
- INSTITUTO BRASÍLIA AMBIENTAL (INSTITUTO BRASÍLIA AMBIENTAL). **Autorização Ambiental nº 55 - INSTITUTO BRASÍLIA AMBIENTAL/DF**, publicada no Diário Oficial do Distrito Federal nº 182, de 06 de setembro de 2012. p. 50.
- JENKINSON, D.S. & LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A. & LADD J.N. eds. **Soil biochemistry**. Marcel Dekker, p.415-471, 1981.
- KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; S, L. G. A. S.; GONZALES, A. P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.405-416, 2008.
- KORASAKI, V.; MORAIS, J. W. de; BRAGA, R. F. Macrofauna. In: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMER, S. L. (Eds.). **O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras: UFLA, p. 79-128, 2013.
- LACHAT, T.; ATTINGNON, S.; DJGO, J.; GOERGEN, G.; NAGEL, P.; SINSIN, B.; PEVELING, R. Arthropod diversity in Lama forest reserve (South Beni), a mosaic of natural, degrad and plantation forests. **Biodiversity and Conservation**. London, v.15, p.3-23, 2006.
- LARA, A. I.; ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S. Avaliação dos impactos ambientais e monitoramento da disposição final do lodo. In: ANDREOLI, C. V., VON SPERLING, M., FERNANDES, F. (Eds.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG, 484 p., 2001.
- LAZCANO, C.; DOMÍNGUEZ, J. The use of vermicompost in sustainable agriculture: impact on plant growth and soil fertility. In: MIRANSARI, M. (Ed.). **Soil nutrients**. New York: Nova Science Publishers, 2011. p. 230-254.
- LAVELLE, P.; BIGNELL, D.; LEPAGE, M.; WOLTERS, V.; ROGER, P.; INESON, P.; HEAL, O. W.; GHILLION, S. Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v.33, p.159-193, 1997.
- LAVELLE, P.; SPAIN, A.V. Soil ecology. Dordrecht: Kluwer Academic Pub., 2001. 654p.
- LEMAINSKII, J.; SILVA, E. Utilização do LE da COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL na produção de milho no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 741-750, 2006.
- LEPS, J. & SMILAUER, P. Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO. **Cambridge, University Press**. 269 p, 2003.
- 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.
- LIMA, J. T.; COSTA-LEONARDO, A. M. Recursos alimentares explorados pelos cupins (Insecta: Isoptera). **Biota Neotropica**, v. 7, n. 2, 2007.
- LIRA, A. C. S.; GUEDES, M. C.; SCHALCH, V. Reciclagem de lodo de esgoto em plantação de eucalipto: carbono e nitrogênio. Artigo Técnico. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 207-216, 2008.

LOBO, T.F., GRASSI FILHO, H., BULL, L.T., MOREIRA, L.L.Q. Manejo do lodo de esgoto e nitrogênio mineral na fertilidade do solo ao longo do tempo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 2705-2726, 2013.

LOBRY DE BRUYN, L.A. 1999. Ants as bioindicators of soil function in rural environments. **Agric. Ecosys. Environ.**, v. 74, p. 425-441.

LOUZADA, J.N.C. Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) detritivos em ecossistemas tropicais: diversidade e serviços ambientais. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. e BRUSSAARD, L. **Biodiversidade do solo em ecossistemas BRASILEiros**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, p.299-322, 2008.

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, p.1011-1020, 2009.

MARTIUS, C. et al. Litterfall, litter stocks and decomposition rates in rainforest and agroforestry sites in central Amazonia. **Nutr. Cycl. Agroecos.** v. 68, p. 137-154, 2004.

MELO, W. J. & MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O. A., eds. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA Meio Ambiente, 2000. p.109-141.

MODESTO, P.T., SCABORA, M.H., COLODRO, G., MALTONI, K.L., CASSIOLATO, A.M.R. Alterações em algumas propriedades de um latossolo degradado com uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 489-1498, 2009.

MOLDENKE, A. R. Arthropods. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A. **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Madison: SSSA, Part 2. 1994. p. 517-542.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras:UFLA, 2006. 729 p.

MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R. B.; STÜRMER, S. L. **O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras: UFLA, 2013, 352 p.

MOREIRA, F. M. S.; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. **Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade**. Lavras: UFLA, 2010. 368 p.

MÜLLER, D. H.; CAMILI, E. C.; GUIMARÃES, S.C.; CAMPO, D. T. S.; MARTINS, M. E.; BARROS, K. C. Biomassa e atividade microbiana de solo sob aplicação de resíduos orgânicos. **Revista Internacional de Ciências**, v. 4, n. 2, 2014.

NASCIMENTO, A. L.; SAMPAIO, R. A.; JÚNIOR, D. S. B.; JUNIO, G. R. Z.; FERNANDES, L. A. Crescimento e produtividade de semente de mamona tratada com lodo de esgoto. **Revista Caatinga**, v.24, p.145-151, 2011.

NOFFS, P. S.; GALII, L. F.; GONÇALVES, J. C. Recuperação de áreas degradadas da mata atlântica: Uma experiência da CESP - **Companhia Energética de São Paulo**. São Paulo: CESP, 2011.p.1- 48. Série Cadernos da Biosfera 3.

NOVACAP (Companhia Urbanizadora da Nova Capital do BRASIL). **Estudos e Pesquisas em Parques e Jardins**. 2015. Disponível em: <http://www.novacap.df.gov.br/sobre-a-novacap/dpj.html>
Acesso em: dez. 2015.

NUNES, L. A. P. L.; ARAUJO FILHO, J. A.; MENEZES, R. I. Q. Recolonização da fauna edáfica em áreas de caatinga submetida a queimadas. **Revista Caatinga**, v.21, p. 214-220, 2008.

NUNES, L. A. P. L.; SILVA, D. I. B.; ARAÚJO, A. S. F.; LEITE, L. F. C.; CORREIA, M. E. F. Caracterização da fauna edáfica em sistemas de manejo para produção de forragens no Estado do Piauí. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 1, p.30-37, 2012.

OLIVEIRA, D.N.S de. **Efeito do lodo de esgoto e de plantas de cobertura na recuperação de uma área degradada em Brasília-DF**. Dissertação (Mestrado). 2015. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Universidade de Brasília, Brasília.

PARR, C. L.; CHOWN, S. L. Inventory and bioindicator sampling: Testing pitfall and winkler methods whith ants in a South African savanna. **Journal of Insect Conservation**. v. 5, p. 27-36, 2001.

PETILLON, J.; CANARD, A.; YSNEL, F. Spiders as indicators of microhabitat changes after a grass invasion in salt-marshes: synthetic results from a case study in the Mont-Saint-Michel Bay. **Cahiers de Biologie Marine**. Paris, v. 47, n.1, p.11-18, 2006.

PRIMO, D.C.; MENEZES, R.S.C.; SILVA, T.O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste BRASILEIRO. **Scientia Plena**, v. 7, n. 5, p. 1-13, 2011.

PROSAB. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro. 2006. 427p.

QUEIROZ JÚNIOR, V. B. de. **Uso de lodo de esgoto na recuperação de áreas mineradas do Distrito Federal: influências nas propriedades químicas do substrato**. Dissertação (Mestrado). 2010. Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília.

RÉ, T. M. **O uso de formigas como bioindicadores no monitoramento ambiental de revegetação de áreas mineradas**. 2007. 246p. Tese. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

REIS, L.L. **Monitoramento da recuperação ambiental de áreas de mineração de bauxita na Floresta Nacional de Saracá-Taquera, Porto Trombetas (PA)**. 2006. 175 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

REIS, M.F.P.; BIDONE, F.R.A.; GEHLING, G.R. Produção de macro e micro nutrientes através da compostagem de resíduos orgânicos provenientes das poda urbanas codispostos com resíduos da CEASA e lodo de estação de tratamento de esgotos. Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, *Anais...* 2000. 9 p.

RIBEIRO, L. R. P. **Efeitos de plantas de cobertura e da adubação nitrogenada nas frações da matéria orgânica do solo e na produtividade do milho**. Dissertação (Mestrado). 2016. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Universidade de Brasília, Brasília.

RICCI, A. B.; PADOVANI, V. C. R.; PAULA JÚNIOR, D. R. Uso de lodo de esgoto estabilizado em um solo decapitado: II - Atributos químicos e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.543-551, 2010.

ROSA, T. de F. de D. **Produção de serrapilheira, concentração e acúmulo de nutrientes em povoamentos de teca**. Dissertação (Mestrado). 2010, 57 p. Faculdade de Engenharia Florestal: Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso.

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.

SALTON, J. C. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 11-21, 2008.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C. Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul. Dourados: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Agropecuária Oeste**, 2005. 58 p.

SAMPAIO, T.F., GUERRINI, I.A., BACKES, C., HELIODORO, J.C.A, RONCHI, H.S., TANGANELLI, K.M., CARVALHO, N.C., OLIVEIRA, F.C. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, 2012.

SANTOS M. S.; LOUZADA, J. N. C.; DIAS, N.; ZANETTI, R.; DELABIE, J. H. C.; NASCIMENTO, I. C. Riqueza de formigas (Hymenoptera, Formicidae) da serapilheira em fragmentos de floresta semidecídua da Mata Atlântica na região do Alto do Rio Grande, MG, BRASIL. **Iheringia**, Série Zoologia, v. 96, n. 1, p. 95-101, 2006.

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.

SILVA, L. N.; AMARAL, A. A. Amostragem da mesofauna e macrofauna de solo com armadilha de queda. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 8, p. 108 - 115, (Edição Especial), 2013.

SILVA, R. F. da; AQUINO, A. M. de; 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, p.697-704, 2006.

SILVA, R. F.; SCHEID, D. L.; CORASSA, G. M.; BERTOLLO, G. M.; KLUSS, C. C.; LAMEGO, F. P. Influência da aplicação de herbicidas pré-emergentes na fauna do solo em sistema convencional de plantio de cana-de-açúcar. **Biotemas**, v. 25, n. 3, p. 227-238, 2012.

SILVANO, C. **Atributos biológicos em solos sob plantio direto com aplicação de dejetos líquido bovino**. Dissertação (Mestrado). 2011. Departamento de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

SILVEIRA, P.M.; CUNHA, P.C.R.; STONE, L.F.; SANTOS, G.G. Atributos químicos de solo cultivado com diferentes culturas de cobertura. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 3, 2010. p. 283-290.

SILVEIRA, E. R.; PELISSARI, A.; MORAES, A. de, 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.

- SILVÉRIO, J. Uso agrícola do lodo de esgoto, da matéria orgânica do lixo urbano e de resíduos industriais. **O Agrônomo**. v.56, p. 5-8, 2004.
- SIMONETE, M.A., KIEHL, J.C., ANDRADE, C.A., TEIXEIRA, C.F.A. Efeito do lodo de esgoto em um argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 0, 2003.
- SIQUEIRA, J.O.; SOARES, C.R.F.S. & SILVA, C.A. Matéria orgânica em solos de áreas degradadas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.; CANELLAS, L.P. ; CAMARGO, F.A.O., (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, 2008. p.495-524.
- SOUZA, A.L.B.; CARVALHO, K.S.; PEREIRA, M.S.; SAMPAIO, C.P. Mirmecofauna de mata de cipó (transição entre mata Atlântica e Caatinga) no semi-árido baiano. In: **ENCONTRO DE MIRMECOLOGIA**, 15, 2001. Londrina. Resumos... Londrina: IAPAR, 2001. p.333-335.
- SWIFT, M.J.; HEAL, O.W. & ANDERSON, J.M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Oxford, Blackwell, 1979. 372p.
- TEIXEIRA, S.T., MELO, W.J., SILVA, E.T. Aplicação de lodo da estação de tratamento de água em solo degradado – Notas Científicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.1, p.91-94, 2005.
- TEIXEIRA, S.T., MELO, W.J., SILVA, E.T. Plant nutrients in a degraded soil treated with water treatment sludge and cultivated with grasses and leguminous plants. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 39, p. 1348–1354, 2007.
- THOMANZINI, M. J.; THOMANZINI, A. P. B. W. Levantamento de insetos e análise entomofauna em florestas, capoeira e pastagem no Sudeste Acreano. Rio Branco: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (**Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 35), 2002.
- TOPP, W.; SIMON, M.; KAUTZ, G.; DWORSCHAK, U.; NICOLINI, F.; PRÜCKNER, S. Soil fauna of a reclaimed lignite open-cast mine of the Rhineland: Improvement of soil quality by surface pattern. **Ecol. Eng.**, v.17, p.307-322, 2001.
- TOYOTA, A.; KANEKO, N.; ITO, M. T. Soil ecosystem engineering by the train millipede *Parafontaria laminata* in a Japanese larch forest. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 38, p. 1840-1850, 2006.
- VANBERGEN, A.J.; WATT, A.D.; MITCHEL, R.; TRUSCOTT, A.M.; PALMER, S.C.F.; IVITS, E.; EGGLETON, P.; JONES, T.H. & SOUSA, J.P. Scale-specific correlations between habitat heterogeneity and soil fauna diversity along a landscape structure gradient. **Oecologia**, 153:713-725, 2007.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. **An extraction method for measuring soil microbial biomass C**. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 19, p.703-707, 1987.
- VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.35-42, 2000.
- VASCONCELOS, H.L. Formigas do solo nas florestas da amazônia de diversidade e respostas aos distúrbios naturais e antrópicos. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. e BRUSSAARD, L. **Biodiversidade do solo em ecossistemas Brasileiros**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2008. p.323-343.

- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 743-755, 2009.
- VICENTE, N.M.F.; CURTINHAS, J.N.; PEREZ, A.L.; PREZOTTI, L. Fauna Edáfica Auxiliando a Recuperação de Áreas Degradadas do Córrego Brejaúba, MG. *Floresta e Ambiente*, v.17, n.2, p.104-110. 2010.
- VITAL, A. R. T. et al. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, v.28, n. 6, p. 793 – 800, 2004.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 2005.
- WARREN, M. W.; ZOU, X. Soil macrofauna and litter nutrients in three tropical tree plantations on a disturbed site in Puerto Rico. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v. 170, p. 161-171, 2002.
- WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONCA, E.S.; ALVARENGA, R.C. Organic-matter pools of soil under pines and annual cultures. **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 41, 1707–1722, 2010.
- WINK, C.; GUEDES, J. V. C.; FAGUNDES, C. K.; ROVEDDER, A. P. Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v.4, , p. 60-71, 2005.
- WOLTERS, V. Invertebrate control of soil organic matter stability. **Biology and Fertility of Soils**, v.31, p.1-19, 2000.