



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
IB/IG/IQ/FACE-ECO/CDS
CURSO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS

CARLOS ALEXANDRE PINTO ZART

**EFEITO DO LODO DIGERIDO DESAGUADO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
DE EFLUENTES NO COMPORTAMENTO DE MINHOCAS (EISENIA FETIDA E
EISENIA ANDREI) DE ACORDO COM A NORMA ABNT NBR ISO 17512-1**

BRASÍLIA

2022

CARLOS ALEXANDRE PINTO ZART

EFEITO DO LODO DIGERIDO DESAGUADO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES NO COMPORTAMENTO DE MINHOCAS (EISENIA FETIDA E EISENIA ANDREI) DE ACORDO COM A NORMA ABNT NBR ISO 17512-1

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais.

**Orientador: Prof. Dr. Uidemar Morais Barral
Coorientador: Prof. Dr. Jader Galba Busato**

BRASÍLIA

2022

CARLOS ALEXANDRE PINTO ZART

**EFEITO DO LODO DIGERIDO DESAGUADO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
DE EFLUENTES NO COMPORTAMENTO DE MINHOCAS (EISENIA FETIDA E
EISENIA ANDREI) DE ACORDO COM A NORMA ABNT NBR ISO 17512-1**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Aprovado em 23 de setembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Uidemar Morais Barral (Orientador)

Universidade de Brasília (UnB)

Prof. Dr. Mauro Guilherme Maidana Cappellaro

Universidade de Brasília (UnB)

A minha família, razão de minha
existência.

Agradeço a todos os que me acompanharam, com muita paciência, neste caminho.

“A imaginação é mais importante que o conhecimento. Conhecimento auxilia por fora, mas só o amor socorre por dentro. Conhecimento vem, mas a sabedoria tarda.”

Albert Einstein

RESUMO

O manejo de resíduos sólidos, inclusive aqueles gerados pelas Estações de Tratamento de Esgotos, é assunto prioritário em função do passivo ambiental gerado por este tipo de resíduo. Este trabalho avalia o comportamento de minhocas - *E. fetida* e *E. andrei* - sob a norma ABNT NBR ISO 17512-1, quando indivíduos destas espécies são expostos a percentuais controlados de lodo digerido desaguado destas Estações e verifica ser este um teste eficaz e eficiente na caracterização destas espécies como bioindicador, uma vez que demonstra a preferência de deslocamento destas minhocas em direção ao compartimento contaminado, em função da presença de Matéria Orgânica e micronutrientes como Nitrogênio e Fósforo.

Palavras-Chaves: Tratamento de Esgoto; Lodo Digerido; *Eisenia fetida*; *Eisenia andrei*; Ensaio de Fuga.

ABSTRACT

The management of solid wastes, including those generated by Sewage Treatment Plants, is a priority issue due to the environmental liabilities generated by this type of waste. This work evaluates the behavior of earthworms *E. fetida* and *E. andrei* under the ABNT NBR ISO 17512-1 standard when individuals of these species are exposed to controlled percentages of dewatered digested sludge from these plants and verifies that this is an effective and efficient test in the characterization of these species as a bioindicator, since it demonstrates the preference of these earthworms to move towards the contaminated compartment, due to the presence of Organic Matter and micronutrients such as Nitrogen and Phosphorus.

Keywords: Waste water; dewatered digested sludge; *Eisenia fetida*; *Eisenia andrei*; Avoidance test.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
4 MATERIAIS E MÉTODOS	15
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
6 CONCLUSÃO	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
APÊNDICE A – DADOS OBSERVADOS	26

1. INTRODUÇÃO

O manejo adequado de resíduos sólidos gerados pelas mais diversas atividades humanas é fundamental para a manutenção da qualidade ambiental e o setor de saneamento, considerado como um grande gerador de passivos ambientais urbanos, tem sido exigido pelas políticas ambientais quanto ao tratamento dos efluentes gerados, constituídos principalmente de lodo esgoto (BARSANO; BARBOSA, 2017).

O lodo é gerado nas estações de tratamentos de esgoto (ETE) por um sistema de tratamento denominado de lodos ativado. Este sistema é composto por uma série de processos que visam a separação de sólidos solúveis e insolúveis do fluxo de esgoto, altamente dependente da ação microbológica. Porém, pequenas variações no processo ou contaminações podem causar diferenças na constituição do lodo precipitado, tornando os sistemas de lodos ativados bastante sensíveis a fatores que estão por vezes fora da esfera operacional ou de controle (SPERLING, 1996). Assim, as características do lodo gerado são altamente dependentes das características dos efluentes coletados.

O sistema de tratamento por lodos ativado ao final do processo gera o lodo digerido, onde pela ação de organismos, aeróbicos e anaeróbicos, ocorre uma redução da matéria orgânica (ANDREOLI et al., 1999). O lodo digerido, devido ao alto teor de umidade, necessita ainda de processamento para retirada da água, o que reduz seu volume e facilita seu transporte e manejo. É comum nesta operação a utilização de prensas ou centrífugas (BARROS et al., 2011; METCALF; EDDY, 2016).

O lodo digerido, sem o excesso de água, ou lodo digerido desaguado, pode ser usado como insumo agrícola e na recuperação de áreas degradadas por ser constituído de matéria orgânica e nutrientes, como nitrogênio e fósforo, por exemplo. Podendo ser utilizado, em complemento, com a adubação verde e o cultivo de espécies nativas na recuperação do Horizonte A no bioma Cerrado (SAMPAIO et al., 2012).

Para o uso adequado do lodo é necessário um conhecimento prévio sobre seus efeitos na comunidade de organismos, nas propriedades físicas e químicas, no comportamento de metais pesados, de compostos orgânicos persistentes e de patógenos humanos nos solos tropicais. Assim, há necessidade de identificar as alterações provocadas pela aplicação para que não sejam deletérias aos organismos dos ecossistemas e em compartimentos específicos desses ecossistemas (FONSECA et al., 2020).

A utilização de lodo digerido no Brasil é regida pela resolução CONAMA nº375/06, em que todos os critérios e procedimentos para o uso agrícola deste subproduto e de seus derivados estão definidos. Sua qualidade deve atender critérios de potencial agrônomo; substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas; indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos; e estabilidade (BRASIL, 2006).

Para a definição de potencial agrônomo, a resolução prevê a determinação de parâmetros para carbono orgânico; fósforo total; nitrogênio Kjeldahl; nitrogênio amoniacal; nitrogênio nitrato/nitrato; pH em água (1:10); potássio total; sódio total; enxofre total; cálcio total; magnésio total; umidade; e sólidos voláteis e totais. Com relação às substâncias inorgânicas exige-se a determinação de Arsênio; Bário; Cádmio; Chumbo; Cobre; Cromo; Mercúrio; Molibdênio; Níquel; Selênio; e Zinco. Para as substâncias orgânicas, os limites dependem das características específicas do esgoto sanitário, a norma permite a alteração e até mesmo a dispensa de caracterização química de alguns itens, dependendo de regulamentação específica definida pelos órgãos competentes locais (BRASIL, 2006).

Os agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos devem expressar a concentração de coliformes termotolerantes; ovos viáveis de helmintos; Salmonella; e vírus entéricos. E, para a caracterização de estabilidade, define-se que o lodo de esgoto ou produto derivado é estável quando relação entre sólidos voláteis e sólidos totais for inferior a 70% (Brasil, 2006).

A utilização ainda depende do correto licenciamento, devendo existir uma Unidade Gestora de Lodo (UGL) com atuação direta nas áreas de avaliação de benefícios; riscos; tipo e classe de lodo de esgoto ou produto derivado empregado;

critérios de aplicação; procedimentos para evitar a contaminação do meio ambiente e do homem por organismos patogênicos; e o controle de proliferação de animais vetores (Brasil, 2006).

Analisar todas as características e os processos físicos, químicos e biológicos do solo para avaliar sua qualidade, torna-se oneroso, principalmente devido ao tempo e custo. Com isso, indicadores da qualidade geral do solo e do ambiente, podem reduzir a quantidade de parâmetros a ser avaliados, além de serem de mais fácil avaliação. Dentre esses indicadores, os biológicos tendem a ser mais sensíveis e reagem rapidamente às mudanças ocorridas no solo quando comparados aos parâmetros físicos e químicos, e por isso tem sido usados na avaliação da qualidade do solo (ARAUJO; DIAS; BENINI, 2017; CORRÊA; FONSECA; CORRÊA, 2007; NATAL-DA-LUZ et al., 2009).

Entre os indicadores biológicos estão as minhocas por serem de fácil visualização e coleta no solo. Além disso, são sensíveis e reagem a mudanças ocorridas no solo por possuírem quimiorreceptores na superfície do corpo que detectam diversos compostos com potencial deletério ao meio ambiente. Portanto, podem indicar o estado atual alterações ocorridas nos ecossistemas. Isso se torna útil para programas de avaliação da qualidade ambiental. Assim, alterações na população ou na atividade da população de minhocas podem preceder mudanças nas propriedades químicas e físicas, refletindo um sinal de melhoria ou degradação do solo (ARAUJO; DIAS; BENINI, 2017; DE SILVA, 2009; SISINNO et al., 2018).

No Brasil utiliza-se a norma ABNT NBR ISO 17512-1 como fonte primária para um método rápido de varredura para fazer a avaliação da função de *habitat* de solos e a influência de contaminantes e substâncias químicas no comportamento de minhocas (*Eisenia fetida* e *Eisenia andrei*) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011). O uso das espécies *E. fetida* ou *E. andrei* reúne uma série de qualidades imprescindíveis para a realização de ensaios não letais de curta duração, evitando fatores ligados a reprodução, que demandariam longos períodos de pesquisa, direcionando o foco para parâmetros de fácil e rápida determinação, como a mortalidade (HUND-RINKE et al., 2003).

A espécie *E. fetida* é conhecida nos meios acadêmicos como uma das espécies sentinelas em testes padrão de ecotoxicidade e monitoramento ambiental em função de sua facilidade de reprodução, larga disponibilidade e susceptibilidade a produtos químicos (GU et al., 2021). Assim, a *E. fetida* é o método adotado na norma ABNT NBR ISO 17512-1 e atende aos critérios presentes na literatura para a escolha de uma determinada espécie ou método de ensaio que são a simplicidade de *desing*; pequeno período de teste e baixa intensidade de trabalho quando comparado com outros ensaios; alta sensibilidade dos organismos relacionada aos químicos envolvidos ou solos contaminados; informações adicionais de procedimentos estabelecidos quanto aos efeitos repelentes sobre a espécie; Influência estimável das propriedades físico-químicas no comportamento da espécie; testes em oposição a referências não contaminadas (HUND-RINKE et al., 2003).

O princípio do ensaio de fuga, usado na norma ABNT NBR ISO 17512-1, visa avaliar se um solo contaminado ou se um contaminante adicionado ao solo pode causar um comportamento de fuga/rejeição dos organismos e considera-se como comportamento de fuga o ato de um organismo evitar o solo-teste, com preferência pelo solo controle. O uso do ensaio de fuga não substitui outros ensaios como o de letalidade, ISO 11268-1 e o ensaio de reprodução de minhocas, ISO 11268-2 (CRISTINA et al., 2022), mas avalia outro parâmetro subletal. A principal aplicação dos ensaios de fuga é avaliar solos potencialmente contaminados, também é possível o uso deste ensaio para a avaliação dos efeitos das substâncias químicas isoladamente, depois de serem adicionadas ao solo (SISINNO et al., 2018).

O ensaio de fuga demonstrou-se eficiente na detecção de contaminação por diversas substâncias no solo. Quando usado para verificar o comportamento de *E. fetida* na presença de dois contaminantes, o acefato, um inseticida e da atrazina, um herbicida, a *E. fetida* foi extremamente suscetível à presença destes contaminantes, mesmo em baixas concentrações como $3,9 \text{ mg kg}^{-1}$ por quilograma de solo seco (DATTA et al., 2021). Também houve a validação do ensaio de fuga, onde não houve mortalidade, em estudos realizados com uso de tolueno, xileno, tricloroetileno e suas misturas (WANG et al., 2021). Também há comprovação que a exposição a microplásticos e outros contaminantes já presentes no solo aumentaram a taxa de

fuga da *E. fetida* quando comparada com a exposição aos elementos contaminantes individuais (ZHANG et al., 2022).

O ensaio de fuga também foi usado para avaliar o efeito de biopesticida a base de *Bacillus thuringiensis* no solo e verificou-se que a concentração de até 0,005 g/cm² não provoca qualquer indicação de fuga, podendo ser inerte para a *E. andrei*, e uma alternativa aos pesticidas convencionais (ICHIHARA; PAULINO, 2020). O impacto da utilização de biocarvão proveniente da palha de arroz também foi avaliado pelo ensaio de fuga e contaminações de 7,5% até 15% causaram rejeição pelo solo contaminado (HAN et al., 2021).

A norma ABNT NBR ISO 17512-1 foi empregada na determinação da influência da fuga de *E. Andrei* quando exposta a um solo contaminado com cama de aviário, resíduo rico em fluoroquinolonas, e largamente utilizado na recomposição de solos agrícolas. Neste estudo, foram utilizadas doses crescentes de cama de frango e foi observado que quantidades de 50 g kg⁻¹ de solo induziu a fuga das asminhocas (PARENTE et al., 2021). Neste sentido, dejetos líquidos de suínos quando aplicados ao solo influenciaram o comportamento das minhocas, sendo atraídas pelo solo onde os dejetos foram aplicados, em função da alta carga de matéria orgânica e macronutrientes, como fósforo e nitrogênio (CONCEIÇÃO et al., 2020). Para a aplicação de chorume de aterro sanitário no estado do Rio de Janeiro as concentrações entre 1,75 ml kg⁻¹ de solo seco até 26,2 ml kg⁻¹ de solo seco não provocaram a fuga de minhocas *E. andrei* (SALES JUNIOR et al., 2021).

Apesar do ensaio de fuga representar uma norma conhecida e bastante empregada, a literatura não contempla a utilização de lodo digerido desaguado de tratamento de efluentes como objeto de pesquisa, assim o objetivo deste trabalho foi verificar o comportamento de minhocas (*Eisenia fetida* ou *Eisenia andrei*) em solo acrescido de lodo de esgoto digerido desaguado usando o ensaio de fuga padronizado pela ABNT NBR ISO 17512-1.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram usadas amostras do horizonte Bw de um Latossolo Vermelho e minhocas (*Eisenia fetida* ou *Eisenia andrei*) coletados na estação Ecológica da Universidade de Brasília (UnB). O solo foi peneirado usando peneira de 2 mm e foram determinados, o pH, segundo a norma ISO 10390 (ISO, 2021) e a capacidade de retenção de água, conforme descrito no Anexo F da norma ABNT NBR ISO 17512-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011). O ensaio foi realizado nas dependências da Estação de Tratamento de Esgotos - ETE Brasília Norte, durante o mês de agosto de 2022. Os valores obtidos foram, respectivamente, 5,23 e 75,5 %.

Posteriormente, o solo-controle (sem lodo) e o solo-teste (com lodo) tiveram a umidade ajustada para 60% da capacidade de retenção de água. O lodo digerido desaguado, foi obtido na Estação de Tratamento de Esgotos de Brasília Norte da CAESB.

O solo-teste foi preparado acrescentando-se o percentual específico (Tabela 1), em massa, de lodo digerido desaguado como contaminante e após a completa mistura destes solos e contaminante, da massa resultante do processo, 400 gramas foram retiradas e colocadas na câmara previamente identificada do recipiente, perfazendo-se um total de 800 gramas de solo-teste e solo-controle no recipiente para o ensaio.

Tabela 1 – Quantidade de contaminante adicionada no solo-teste em função do percentual de contaminação empregado.

% Contaminação	Massa de contaminante (g)
0	0
1	4
5	20
10	40
20	80
40	160

Fonte: autor (2022)

O ensaio foi conduzido em recipientes plásticos pretos, com dimensões de 18 x 13 x 15 cm, com capacidade volumétrica de 1,5 litros. Foi utilizado Tecido Não Tecido (TNT) branco para evitar a saída das minhocas e por promover a troca gasosa com a atmosfera e luminosidade. Seis recipientes foram preparados, identificados de A até E, ou seja, para cada nível de contaminação foram utilizados 5 recipientes e um identificado como “aclimatação” (Figura 1). As minhocas utilizadas no ensaio foram aclimatadas por 24 horas usando 800 g de solo-controle no recipiente identificado como “aclimatação”.

Figura 1 – Recipientes utilizados no ensaio com TNT utilizado para evitar a saídas das minhocas e identificados com o tipo de material usado em cada divisão.



Fonte: autor (2022)

Os recipientes-teste foram preparados colocando-se em seu interior uma placa separadora de plástico (Figura 2A) e, nas câmaras foram adicionados 400 gramas de solo-teste (Figura 2B) e 400 gramas de solo-controle (Figura 2C).

Figura 2 – Recipientes usados no ensaio de fuga com a divisão por placa de plástico (A), adição dos solos controle e teste (B e C), disposição das minhocas (D) e representação da divisão dos recipientes após as 48 da colocação das minhocas (E).



Fonte: autor (2022)

Após a adição dos solos controle e teste nos recipientes, a placa separadora foi retirada, no centro do recipiente, na linha de separação entre as câmaras, 10 minhocas adultas provenientes do recipiente “aclimatação”, foram colocadas (Figura 2D). Sendo estas com peso entre 3 e 6 gramas, segundo a ABNT NBR ISO 17512-1. O recipiente foi coberto com TNT branco e após 48 horas, a placa separadora foi reinserida na divisão entre os dois solos nos recipientes (Figura 2E) e os indivíduos foram contabilizados nas duas divisões, controle e teste. Neste procedimento, minhocas que tiveram seu corpo dividido pela placa, são consideradas como 0,5 indivíduo, independente do comprimento.

A porcentagem de fuga foi determinada em cada nível de contaminação de acordo com a equação (1) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011). Respostas negativas (quando as minhocas preferem o solo-teste) foram consideradas com 0% de fuga (NIEMEYER; ALVES; NUNES, 2010).

$$x = \left(\frac{nc - nt}{N} \right) \times 100 \quad (1)$$

Onde,

x = é a fuga, expressa em percentagem;

nc = é o número de minhocas no solo-controle;

nt = é o número de minhocas no solo-teste;

N = é o número total de minhocas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ensaio de fuga foi validado no estudo, por apresentar 0% de mortalidade de minhocas (Tabela 2). De acordo com a norma ABNT NBR ISO 17512-1 o ensaio é invalidado se a mortalidade de minhocas for superior a 10%, ou seja, uma minhoca por recipiente, excluindo-se aquelas divididas quando a inserção da placa plástica.

Os valores da porcentagem de fuga foram todos negativos, assim não houve fuga das minhocas para os níveis de contaminação usados, sendo observado o comportamento de fuga das minhocas foi preferencial em direção ao lado do recipiente que continha o solo-teste, indicando haver uma preferência dos indivíduos pelo ambiente contaminado (Tabela 1). Assim, o lodo usado no ensaio não limita a função de habitat dos indivíduos usados como indicadores. Segundo a norma ABNT NBR ISO 17512-1 ocorre a limitação da função de habitat quando mais do que 80% dos indivíduos são encontrados no solo-controle, indicando impacto em seu comportamento.

Resultados semelhantes, ou seja, não houve fuga, foram encontrados com uso do teste de fuga usado na norma ABNT NBR ISO 17512-1, onde foram utilizados resíduo de indústrias de papelão em Santa Catarina, porém quando usado plantas como indicadores, houve a limitação do crescimento radicular, indicando ecotoxicidade o que restringiu sua aplicação em solos agrícolas (SILVA; NIEMEYER; STOLBERG, 2020).

Tabela 2 – O somatório das minhocas encontrados nos 5 recipientes para cada nível de contaminação nos solos teste e controle, número de mortos, porcentagem de fuga calculada e real.

Contaminação (%)	N° de minhocas			% fuga Calculada	% fuga real
	Solo-teste	Solo-Controle	Mortos		
0	27,0	23,0	0	-8	0
1	37,5	12,5	0	-50	0
5	40,0	10,0	0	-60	0
10	42,5	7,5	0	-70	0
20	44,5	5,5	0	-78	0
40	44,5	5,5	0	-78	0

Fonte: autor (2022)

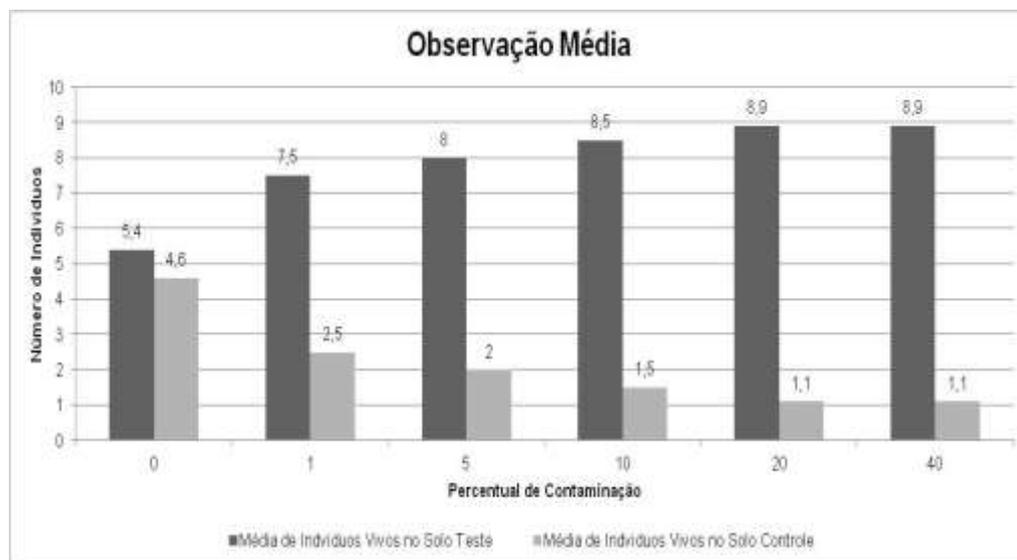
O lodo digerido, sem o excesso de água, ou lodo digerido desaguado é constituído de matéria orgânica e nutrientes, como nitrogênio e fósforo (SAMPAIO et al., 2012; CARVALHO et al., 2015). Essa matéria orgânica e nutrientes são fontes de alimento para as minhocas, fazendo que sejam atraídas para o solo acrescido de lodo (solo-teste). Assim, as minhocas podem não ser boas indicadoras de toxicidade em solos testes com altos de matéria orgânica, pois são de natureza epigéica e possuem preferência por esses tipos de solos (DE SILVA; VAN GESTEL, 2009)

A presença de outros contaminantes, como metais pesados, não apresentou, neste ensaio de curto prazo, influência sobre o comportamento, abrindo oportunidade para a realização de ensaios de mais longa duração. No ensaio de fuga é avaliado o comportamento das minhocas perante a contaminação imediata por algum constituinte existente no logo, que é o foco deste estudo, porém estudos constataram bioacumulação de cádmio em minhocas usadas na vermicompostagem de lodo oriundo de ETE, indicando que mesmo em baixas concentrações no substrato, o lodo, este metal pode causar contaminação ao longo do tempo e o teste de fuga não identifica este tipo de contaminação (RIBEIRO et al., 2015).

Observa-se (Figura 3) que para o ensaio “em branco”, sem a utilização de solo contaminado como solo-teste, a distribuição das minhocas entre os compartimentos dos recipientes foi homogênea, e que a adição de lodo digerido desaguado causou o deslocamento preferencial destas para os compartimentos contaminados, não importando o percentual adicionado. Já com 1%, em massa, de contaminação obtêm-se um deslocamento acima de 70% do plantel e, para qualquer

outro percentual, percebe-se que o deslocamento cresce com tendência de estabilização a partir de 20% de contaminação.

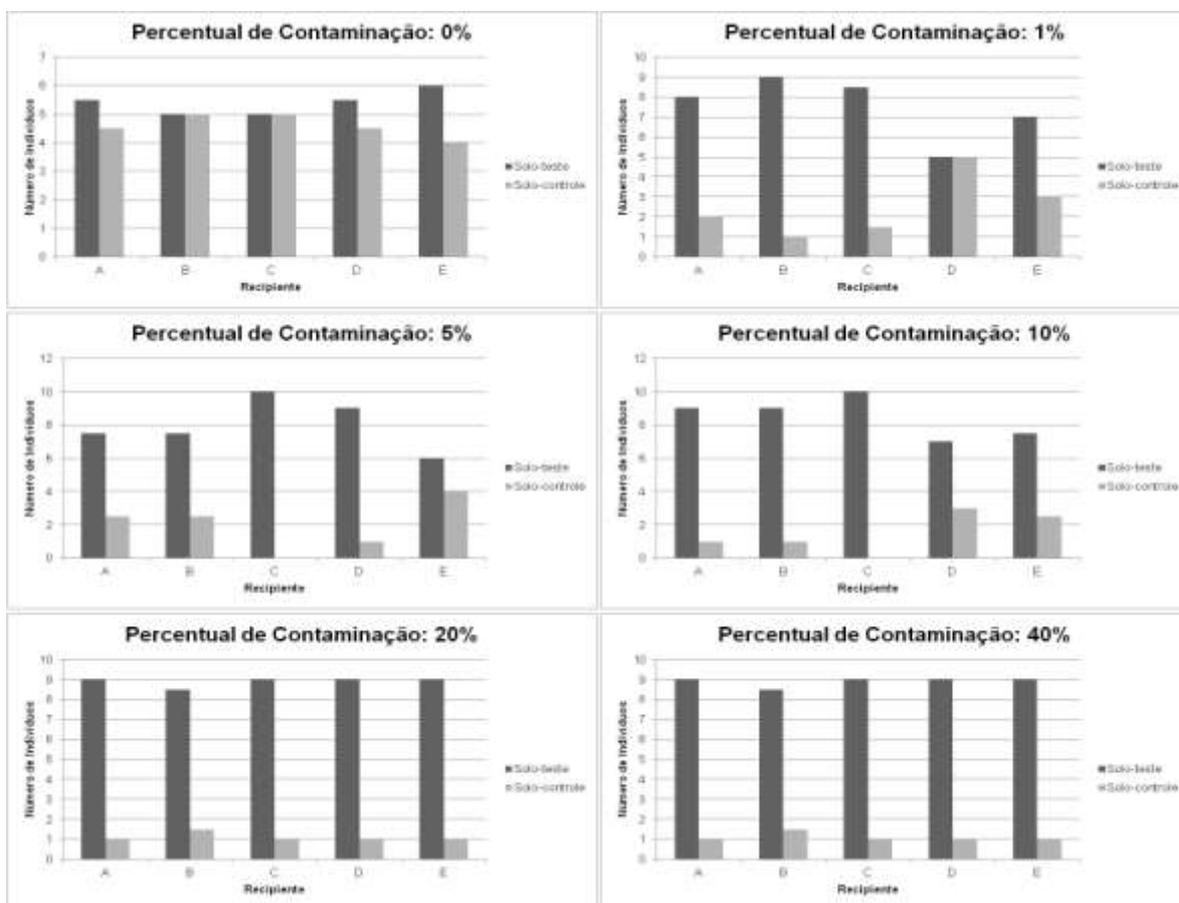
Figura 3 – Representação gráfica da média dos resultados obtidos para a fuga da minhocas em direção ao compartimento contaminado em relação ao percentual de contaminação.



Fonte: autor (2022)

O deslocamento das minhocas chega a ser de até 100% em direção ao compartimento contaminado nos ensaios com 5% e 10% de contaminação, e de 90% naqueles onde se adicionou 20% e 40% de lodo digerido desguado (Figura 4). Havendo, de acordo com a normatização, um número limitado de 10 indivíduos por recipiente, o ensaio demonstra a preferência de deslocamento das minhocas em direção ao compartimento com maior disponibilidade de matéria orgânica e outros nutrientes.

Figura 4 – Representação gráfica das observações para a fuga da minhocas em direção ao compartimento contaminado em relação ao percentual de contaminação em cada recipiente de ensaio.



Fonte: autor (2022)

6 CONCLUSÃO

Os resultados mostram em primeiro lugar que 100% dos indivíduos submetidos ao ensaio sobreviveram, indicando que, em se tratando de toxidez, o lodo de esgoto desaguado não foi capaz de promover a fuga das minhocas em direção ao solo-controle.

O ensaio mostrou a inexistência de impacto negativo sobre as minhocas no que diz respeito ao seu comportamento de fuga quando submetidas ao ensaio regulado pela norma ABNT NBR ISSO 17512-1 quando os solo-controle e solo-teste empregados neste trabalho forem utilizados.

Em face aos resultados obtidos, pode-se afirmar que o comportamento causado pela contaminação de solo por lodo digerido desaguado da ETE Brasília Norte em minhocas foi avaliado de forma eficaz e eficiente, e que a norma ABNT NBR ISSO 17512-1 pode ser utilizada.

Outros estudos são indicados para verificar a toxicidade do lodo de esgoto digerido gerado na ETE Brasília Norte, principalmente aqueles de longa duração para avaliação de características reprodutivas e de bioacumulação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREOLI, C. V. et al. **Uso e manejo de lodo de esgoto na agricultura**. CuritibaSANEPAR, , 1999.
- ARAUJO, R. R. DE; DIAS, L. S.; BENINI, S. M. **ÁGUA: tratamento, efluentes e lodos**. Tupã: ANAP - Associação Amigos da Natureza da Alta Paulista, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 17512-1 Qualidade do Solo — Ensaio de fuga para avaliar a qualidade de solos e efeitos de substâncias químicas no comportamento - Parte 1: Ensaio com minhocas (Eisenia fetida e Eisenia andrei)**. Rio de JaneiroABNT, , 2011.
- BARROS, I. T. et al. Avaliação agronômica de biossólidos tratados por diferentes métodos químicos para aplicação na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 6, p. 630–638, jun. 2011.
- BARSANO, P. R.; BARBOSA, R. P. **Gestão Ambiental**. 1. ed. São Paulo: Saraiva Educação, 2017.
- BRASIL. RESOLUÇÃO Nº 375 , DE 29 DE AGOSTO DE 2006. . 2006.
- CARVALHO, C. S. et al. Composição química da matéria orgânica de lodos de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 10, n. 3, p. 413–419, 30 set. 2015.
- CONCEIÇÃO, I. M. DA C. et al. AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DE SOLOS ADUBADOS COM DIFERENTES DOSES DE DEJETOS LÍQUIDOS DE SUÍNOS UTILIZANDO Eisenia andrei. **10º SIEPEX**, 2020.
- CORRÊA, R. S.; FONSECA, Y. M. F.; CORRÊA, A. S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 420–426, 2007.
- CRISTINA, R. T. et al. Use of Eisenia fetida as a Biological Risk Marker in a Qualitative Eco Assessment Test of a Romanian Watercourse. **Biology**, v. 11, n. 6, p. 820, 26 maio 2022.
- DATTA, S. et al. Avoidance behavior of Eisenia fetida and Metaphire posthuma towards two different pesticides, acephate and atrazine. **Chemosphere**, v. 278, p. 130476, set. 2021.
- DE SILVA, P. M. C. S. **Pesticide Effects on Earthworms A Tropical Perspective**. [s.l: s.n.].
- DE SILVA, P. M. C. S.; VAN GESTEL, C. A. M. Comparative sensitivity of Eisenia andrei and Perionyx excavatus in earthworm avoidance tests using two soil types in the tropics. **Chemosphere**, v. 77, n. 11, p. 1609–1613, 1 dez. 2009.

FONSECA, G. E. DA et al. Diferentes tipos de matéria orgânica no ensaio de reprodução da minhoca californiana *Eisenia andrei*. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. e14942878, 11 mar. 2020.

GU, H. et al. Toxicity of isoprocarb to earthworms (*Eisenia fetida*): Oxidative stress, neurotoxicity, biochemical responses and detoxification mechanisms. **Environmental Pollution**, v. 290, p. 118038, dez. 2021.

HAN, J. et al. Exposure of earthworm (*Eisenia fetida*) to rice straw biochar: Ecotoxicity assessments for soil-amended programmes. **Science of The Total Environment**, v. 794, p. 148802, nov. 2021.

HUND-RINKE, K. et al. Avoidance test with *Eisenia fetida* as indicator for the habitat function of soils: Results of a laboratory comparison test. **Journal of Soils and Sediments**, v. 3, n. 1, p. 7–12, mar. 2003.

ICHIHARA, I. R. A.; PAULINO, M. G. PIBIC EFEITO DO BIOPESTICIDA À BASE DE *Bacillus thuringiensis* EM MINHOCAS (*Eisenia andrei*): ENSAIO DE COMPORTAMENTO DE FUGA. **DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 7, n. Especial, p. 201–207, 6 nov. 2020.

ISO. **ISO 10390 - Soil, treated biowaste and sludge – Determination of pH**. ISO International Standards, , 2021.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 5ª ed. Porto Alegre: Mcgraw-Hill Education, 2016.

NATAL-DA-LUZ, T. et al. Earthworm Avoidance Tests. Em: **Ecotoxicological Characterization of Waste**. New York, NY: Springer New York, 2009. p. 191–196.

NIEMEYER, J. C.; ALVES, P. R. L.; NUNES, M. E. T. Ensaio de comportamento de fuga. p. 10, [s.d.].

PARENTE, C. ET. et al. Fluoroquinolone-contaminated poultry litter strongly affects earthworms as verified through lethal and sub-lethal evaluations. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 207, p. 111305, jan. 2021.

RIBEIRO, R. et al. AVALIAÇÃO DO FATOR DE BIOACUMULAÇÃO DE CÁDMIO EM MINHOCAS NO PROCESSO DE VERMICOMPOSTAGEM. **Revista Jovens Pesquisadores**, v. 5, n. 1, 5 maio 2015.

SALES JUNIOR, S. F. et al. Lethal and long-term effects of landfill leachate on *Eisenia andrei* earthworms: Behavior, reproduction and risk assessment. **Journal of Environmental Management**, v. 285, p. 112029, maio 2021.

SAMPAIO, T. F. et al. LODO DE ESGOTO NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS: EFEITO NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 1637–1645, 2012.

SILVA, N. DA; NIEMEYER, J. C.; STOLBERG, J. Caracterização e avaliação preliminar da ecotoxicidade de resíduo de indústrias de papelão. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 19, n. 1, p. 122–131, 3 abr. 2020.

SISINNO, C. L. S. et al. Importância e aplicações dos ensaios ecotoxicológicos com oligoquetas. **Ecotoxicologia Terrastre: métodos e aplicações dos ensaios com oligoquetas**, p. 26, 2018.

SPERLING, M. VON. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

WANG, W. et al. Acute Toxicity and Ecotoxicological Risk Assessment of Three Volatile Pesticide Additives on the Earthworm—*Eisenia fetida*. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 21, p. 11232, 26 out. 2021.

ZHANG, M. et al. Combined effects of microplastics and other contaminants on earthworms: A critical review. **Applied Soil Ecology**, v. 180, p. 104626, dez. 2022.

APÊNDICE A – DADOS OBSERVADOS

Indivíduos						
Zona						
Recipiente	Teste	Controle	Mortos	Percentual	Contaminação	Fuga (%)
A	5,5	4,5	0	0	0	-10
B	5	5	0	0	0	0
C	5	5	0	0	0	0
D	5,5	4,5	0	0	0	-10
E	6	4	0	0	0	-20
A	8	2	0	1	1	-60
B	9	1	0	1	1	-80
C	8,5	1,5	0	1	1	-70
D	5	5	0	1	1	0
E	7	3	0	1	1	-40
A	7,5	2,5	0	5	5	-50
B	7,5	2,5	0	5	5	-50
C	10	0	0	5	5	-100
D	9	1	0	5	5	-80
E	6	4	0	5	5	-20
A	9	1	0	10	10	-80
B	9	1	0	10	10	-80
C	10	0	0	10	10	-100
D	7	3	0	10	10	-40
E	7,5	2,5	0	10	10	-50
A	9	1	0	20	20	-80
B	8,5	1,5	0	20	20	-70
C	9	1	0	20	20	-80
D	9	1	0	20	20	-80
E	9	1	0	20	20	-80
A	9	1	0	40	40	-80
B	8,5	1,5	0	40	40	-70
C	9	1	0	40	40	-80
D	9	1	0	40	40	-80
E	9	1	0	40	40	-80

FONTE: Autor (2022)