UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AMBIENTAL E SANITÁRIA

AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DO SOLO DO ATERRO SANITÁRIO DE GOIÂNIA

RAYANE VAZ DE SOUSA

GOIÂNIA
JULHO/2017

RAYANE VAZ DE SOUSA

AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DO SOLO DO ATERRO SANITÁRIO DE GOIÂNIA

Monografia completa apresentada na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Goiás.

Orientadora: Katia Kopp

Coorientadora: Márcia Maria dos Anjos Mascarenha

GOIÂNIA
2017

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO ELETRÔNICA DE TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO DA EECA-UFG

1. DADOS PESSOAIS DO AUTOR (SE HOUVER MAIS DE UM AUTOR, ACRESCENTAR OS CAMPOS PARA PREENCHIMENTO DOS DADOS):
Nome: Rayane Vaz de Sousa
CPF: 043.646.571-07 E-mail: ranysousa@gmail.com
Telefone: (62) 999338024

2. IDENTIFICAÇÃO DO DOCUMENTO
Trabalho de Conclusão de Curso 2

Data de defesa: 07/07/2017
Título: Avaliação Ecotoxicológica do solo do Aterro Sanitário de Goiânia.
Curso: Engenharia Ambiental e Sanitária
Orientador: Kátia Kopp
CPF: 969.784.220-53 E-mail: kakopp@gmail.com
Coorientador: Márcia Maria dos Anjos Mascarenha
CPF: 796.748.013-91 E-mail: marciamascarenha@gmail.com

3. PERMISSÃO DE ACESSO AO DOCUMENTO:
Na qualidade de titular(es) dos direitos autorais do trabalho acima citado, em consonância com a Lei n° 9610/98, **autorizo** a Escola de Engenharia Civil e Ambiental a disponibilizar gratuitamente em seu site institucional, sem ressarcimento dos direitos autorais, o referido documento de minha autoria, em formato PDF, para leitura, impressão e/ou download, conforme permissão assinalada.
O documento pode ser publicado:
(x) Na íntegra.
( ) Com restrição parcial por um período de _____, não podendo ser publicadas as seguintes informações e/ou documentos: _____
_____
( ) Com restrição total para publicação por um período de _____, pelos seguintes motivos: _____
_____

Assinatura da autora: Rayane Vaz de Sousa _____

Assinatura do orientador: Katia Kopp _____

Assinatura do coorientador: Márcia Mascarenha _____

Local e data: Goiânia, 07 de julho de 2017.

RAYANE VAZ DE SOUSA

AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DO SOLO DO ATERRO SANITÁRIO DE GOIÂNIA

Monografia apresentada no Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Goiás.

Aprovado em: 07/07/2017.

Banca Examinadora:

Kátia Kopp

Prof. Dr. Kátia Kopp – Universidade Federal de Goiás (Orientadora)

Diógenes Aires de Melo

Eng. Civil Diógenes Aires de Melo – Secretaria Municipal de Planejamento Urbano e Habitação

Simone Costa Pfeiffer

Prof. Dr. Simone Costa Pfeiffer – Universidade Federal de Goiás

Atesto que as revisões solicitadas foram feitas:

Kátia Kopp

Prof. Dr. Kátia Kopp (orientadora)

Em: 10/07/2017.

RESUMO

O gerenciamento inadequado dos resíduos sólidos pode acarretar na contaminação do ar, do solo e das águas superficiais e subterrâneas por agentes patológicos, favorecendo o surgimento de vetores e transmissores de doenças, contribuindo para o crescimento de áreas contaminadas no Brasil. O presente trabalho tem por objetivo avaliar a aplicabilidade dos testes ecotoxicológicos padronizados internacionalmente para organismos terrestres representativos de camadas superficiais como as minhocas. Além disto, visa avaliar os impactos ambientais decorrentes da disposição final dos resíduos sólidos no Aterro Sanitário do município de Goiânia. Para isso foram realizados ensaios de toxicidade aguda e de evitamento com a espécie de minhocas *Eisenia andrei*, além de análises físicas e químicas realizadas com as amostras de solo coletadas em quatro diferentes pontos da área do Aterro. Nas análises físicas e químicas dos solos não foram detectadas concentrações de metais (Cádmio, Níquel, Chumbo). Já o baixo teor de matéria orgânica observados pode contribuir, assim como o baixo valor da Capacidade de Troca Catiônica (CTC), para o desprendimento dos metais pesados das camadas mais superficiais do solo e assim pode haver infiltração para as camadas mais profundas, podendo até mesmo chegar às águas subterrâneas, contaminando o lençol freático, se fazendo necessárias análises mais aprofundadas da qualidade das águas subterrâneas e superficiais dessas áreas de disposição de resíduos. Nos testes de evitamento não houve resposta significativa no comportamento das minhocas em evitar o solo teste nas amostras, porém na amostra de solo coletada próximo as lagoas de chorume mais de 80% das minhocas preferiram o solo controle, concluindo que esta área possui função de habitat limitada. Em relação aos efeitos letais do ensaio de toxicidade aguda apenas o solo da área de expansão do Aterro resultou em tóxica para as minhocas, comparando os resultados. Este resultado pode ter sido influenciado pelo baixo teor de matéria orgânica e de CTC e o pH mais alto encontrado entre as amostras.

Palavras chave: *Eisenia andrei*. Aterro sanitário. Contaminação do solo. Toxicidade. Teste de evitamento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Composição detalhada dos resíduos domiciliares encaminhados ao aterro sanitário de Goiânia. 14
Figura 2: Mapa de Localização do Aterro Sanitário no município de Goiânia indicando os locais de coleta de amostras de solo. 23
Figura 3: Mapa de Acesso do Aterro Sanitário no município de Goiânia. 23
Figura 4: Área em que foram coletadas as amostras e localização dos quatros pontos amostrados. 26
Figura 5: Amostras de solo embaladas em sacos plásticos resistentes e etiquetadas. 27
Figura 6: Coleta de amostras de solo no Ponto 1- área de monitoramento do aterro sanitário. 28
Figura 7: Coleta de amostra no Ponto 2 - área de expansão do aterro. 28
Figura 8: Coleta de amostra no Ponto 3 – área de mata preservada. 29
Figura 9: Coleta de amostra no Ponto 4 - área próxima à lagoa de chorume. 29
Figura 10: Procedimento para a determinação da umidade das amostras de solo. 30
Figura 11: Imagens ilustrativas das caixas plásticas com tampa e divisória para os dois tipos de solo para o ensaio de Evitamento. 33
Figura 12: Recipientes utilizados na realização do ensaio de Toxicidade Aguda. 36
Figura 13: Estímulo mecânico com a pinça para verificar a sobrevivência das minhocas. 36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Total de resíduos recebidos no Aterro Sanitário de Goiânia (2008 a 2014). 14
Tabela 2: Coordenadas geográficas dos pontos onde foram coletadas as amostras de solo e uma breve descrição dos mesmos. 26
Tabela 3: Resultados da umidade inicial e volume de água ultrapura adicionada. 31
Tabela 4: Resumo das condições de ensaio de toxicidade aguda com a minhoca *Eisenia andrei*. 35
Tabela 5: Resultados das análises físico e químicas do solo 39
Tabela 6: Umidade inicial das amostras 41
Tabela 7: Resultados do teste de Evitamento após 24 horas. 41
Tabela 8: Teste de Fisher para o Ponto 2 comparando com o Controle (Ponto 1). 42
Tabela 9: Teste de Fisher para o Ponto 3 comparando com o Controle (Ponto 1). 42
Tabela 10: Teste de Fisher para o Ponto 4 comparando com o Controle (Ponto 1) 42
Tabela 11: Resultados do ensaio de Toxicidade Aguda após 7 dias. 43
Tabela 12: Resultados do ensaio de Toxicidade Aguda após 14 dias. 43
Tabela 13: Análise dos resultados pela ANOVA 2 fatores. 44
Tabela 14: Teste de Tukey. 44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 7
2. OBJETIVOS 11
2.1. OBJETIVO GERAL 11
2.1.1. Objetivos específicos 11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 12
3.1. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS 12
3.2. GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS 15
3.3 FORMAS DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS 16
3.4 PERCOLADO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS: CHORUME 17
3.5 ENSAIOS DE TOXICIDADE COM MINHOCAS 18
3.6 ESTUDOS SIMILARES 20
4 METODOLOGIA 23
A metodologia utilizada neste estudo segue os seguintes procedimentos elencados a seguir. 23
4.1 ÁREA DE ESTUDO 23
4.2 COLETA DE AMOSTRAS 26
4.3 ANÁLISE FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO 29
4.3.1 Determinação da umidade 29
4.3.2 Determinação de pH 31
4.3.3 Determinação de matéria orgânica (M.O) 31
4.3.4 Capacidade de troca de cátions (CTC) 32
4.4 ENSAIOS DE ECOTOXICIDADE TERRESTE 32
4.4.1 Ensaio de Evitamento 32
4.4.2 Ensaio de Toxicidade Aguda 34
4.5 ANÁLISE DE DADOS 37
4.5.1 Ensaio de Evitamento 37
4.5.2 Ensaio de Toxicidade Aguda 37
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 39
A partir dos ensaios e testes realizados geraram-se os resultados e discussões que seguem. 39
5.1 ANÁLISES - QUÍMICAS E FÍSICA DO SOLO 39
5.2 ENSAIO DE EVITAMENTO 41
5.3 ENSAIO DE TOXICIDADE AGUDA 43
6 CONCLUSÕES 46
7 REFERÊNCIAS 48

1. INTRODUÇÃO

Uma das maiores preocupações mundiais tem sido a questão da geração excessiva dos resíduos sólidos e sua disposição final à qual representa riscos à saúde humana, a biodiversidade e aos recursos hídricos. A sociedade moderna enfrenta o grande desafio de gerenciar de forma adequada os resíduos ao mesmo tempo em que há falta de áreas de disposição final ambientalmente adequada para estes, principalmente pelo fato destes causarem impactos ambientais significativos.

Atualmente, o modelo de desenvolvimento adotado pela sociedade moderna, pautado nos padrões de consumo excessivo e supérfluo, onde os produtos tem obsolescência programada, tornando-se descartáveis, com uma visão de que os recursos naturais são inesgotáveis, juntamente com o crescimento, a longevidade da população, a intensa urbanização e expansão do consumo de novas tecnologias favoreceram ainda mais o expressivo crescimento da geração desses resíduos (JACOBI; PEDRO ROBERTO; BESEN, 2011).

A expansão das cidades, muitas vezes de forma desordenada, além de problemas de ordem social e ambiental, também originou a um dos maiores problemas da atualidade: a falta de locais apropriados para dispor os resíduos adequadamente descartados uma vez que há impactos às vizinhanças próximas a essas áreas e também existem áreas protegidas, o que dificulta a construção de aterros sanitários (JACOBI; PEDRO ROBERTO; BESEN, 2011).

Esse fato tem, muitas vezes, levado ao surgimento de locais com gerenciamento inadequado, não existindo em sua maioria tratamento adequado para o chorume ocasionando a contaminação do solo e das fontes subterrâneas de água por resíduos tóxicos.

Na questão de saúde pública, os resíduos urbanos, do ponto de vista sanitário, constituem um meio de transmissão de doenças pela ação de vetores que são atraídos para os locais em que o lixo é disposto, se alimentam e proliferam, sendo indiretamente a causa das doenças epidemiológicas (BROLLO; SILVA, 2001).

Em relação ao aspecto ambiental, a adoção de soluções imediatas fundamentadas no simples descarte à céu aberto constituindo uma inadequada disposição dos resíduos nomeados como lixões, acarreta em degradação do meio ambiente, contaminando recursos naturais como o ar, solo, águas superficiais e subterrâneas (BROLLO; SILVA, 2001).

Jucá (2003, p.5) destaca que "No mundo inteiro, com algumas poucas exceções, os aterros sanitários representam a principal destinação final dos resíduos sólidos" e que "o aterro sanitário tem sido a mais importante meta a alcançar, com vistas a um tratamento adequado dos resíduos".

Porém, como ressalta Jucá (2003, p.5) "Vale ressaltar que nossas normas técnicas sobre aterros de resíduos sólidos foram elaboradas, em sua maioria, há duas décadas e praticamente não incorporaram os conceitos mais recentes de geotecnia ambiental ou mesmo de biotecnologia", além de que para todos esses métodos existe um potencial de contaminação do meio ambiente (solo, ar e água) visto que sempre há o risco de vazamento para o sítio em que os resíduos estejam armazenados (BROLLO; SILVA, 2001).

Também é importante lembrar que existem erros ao executar projetos de aterros assim como há casos em que há falta de documentos ou registros do projeto, dessa forma é difícil avaliar se foi executado corretamente. Existem também áreas que inicialmente em condições de lixão são adaptadas para se tornar um aterro, como é o caso do aterro de resíduos de Goiânia em estudo.

As deficiências apontadas demonstram a ocorrência de poluição e degradação ambientais, tais como contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas, poluição atmosférica, danos à camada de ozônio, disseminação de vetores e de doenças como cólera, cisticercose, disenteria e giardíase (ARAÚJO, 2005 *apud* RIBEIRO; ROOKE, 2010).

Os resíduos depositados nos aterros sanitários possuem uma diversa constituição. Além de produtos com metais pesados como pilhas e baterias, têm-se outros materiais como tintas, eletrônicos, cerâmica, plásticos e corantes, que também contribuem para a presença do metal pesado contido nos resíduos sólidos urbanos que pode ser cumulativo com o decorrer dos anos de disposição desse material no solo (DÉPORTES *et al*., 1995).

Portanto, faz-se necessário uma avaliação da contaminação desses ambientes e dos possíveis efeitos deletérios causados ao solo e aos organismos que vivem nele e dependendo das características físicas e químicas desta contaminação podem lixiviar e contaminar as águas subterrâneas, além de fornecer potenciais riscos de contaminação aos seres humanos que residem em regiões limítrofes aos aterros.

Métodos como análises físico-químicas podem detectar concentrações desses metais no solo, mas não são capazes de informar sobre os efeitos desses contaminantes aos organismos que vivem no solo e à saúde humana em longo prazo. Dessa forma, os testes toxicológicos são uma importante ferramenta para fornecer informações sobre a biodisponibilidade desses poluentes, auxiliar na correlação da contaminação e dos efeitos adversos sobre a biota local e do seu entorno, bem como verificar os efeitos indiretos sobre a saúde humana (Lowe e Butt, 2007 *apud* GOMES, *et al*., 2015).

Existem diversos organismos-teste que podem ser utilizados em ensaios de toxicidade para a avaliação de contaminação do solo sendo as minhocas comumente utilizadas devido ao fato de, dentre os organismos de solo, representarem de 40% a 90% da biomassa da macrofauna da maioria dos ecossistemas tropicais (FRAGOSO *et al.*, 1999).

As minhocas são expostas a contaminantes presentes no solo através do contato com sua epiderme ou ingestão de solo contaminado, desempenhando papel fundamental no processo de biomagnificação de vários poluentes que se encontram no solo devido sua posição trófica e seu nicho ecológico uma vez que se situam nos níveis mais baixos das teias alimentares terrestres, servindo de alimento para vários animais e como rota de transferência de contaminantes ao longo dessas teias (FRAGOSO *et al.*, 1999).

Além disso, o conhecimento já acumulado sobre seus hábitos alimentares e habitats, fazem das minhocas excelentes bioindicadores de ecotoxicidade de substâncias químicas no solo. Mudanças na abundância de minhocas ou na riqueza de espécies têm sido correlacionadas a fontes pontuais de poluição do solo ou ao nível de degradação do solo por atividades antrópicas como, por exemplo, a disposição final de resíduos sólidos (CASTELLANOS; HERNANDEZ, 2007; ANDRÉA, 2010).

Por sua grande importância no solo, sua ampla distribuição e por todas as razões anteriormente citadas, as minhocas, principalmente a espécie *Eisenia andrei*, foi escolhida nesse trabalho para realização de testes de toxicidade e mortalidade para fins de registro da presença de chorume em solos que recebem a disposição final de resíduos sólidos.

É apresentado no artigo 7° da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), inciso I o objetivo de “proteção da saúde pública e da qualidade ambiental” o qual garante a necessidade de recuperação e adequação das áreas de disposição final de resíduos sólidos. Dessa forma, esses testes como um estudo da contaminação do solo de aterros sanitários e

seus efeitos na biota podem ser usados como critérios para verificar a necessidade de recuperação dessas áreas.

Porém ainda há muita dificuldade em criar critérios que caracterizem a contaminação dessas áreas e sua necessidade ou a prioridade de recuperação. Dessa forma, este trabalho se propõe a ser um estudo piloto que poderá fornecer parâmetros da situação de contaminação do solo e a emergência em se recuperar a área em estudo.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Verificar a ocorrência de contaminação no solo do Aterro de Resíduos de Goiânia, assim como os possíveis impactos da propagação para sua biota.

2.1.1. Objetivos específicos

- Aplicar e avaliar uma metodologia para determinação da toxicidade do solo a partir de ensaios de evitamento e mortalidade, com minhocas da espécie *Eisenia andrei*;
- Verificar relação entre os testes com as minhocas e análises físico-químicas do solo das amostras.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A partir do tema problematizado, foram realizados estudos da literatura existente relacionando com a questão de contaminação de solo por resíduos sólidos e metodologias com minhocas para verificar a toxicidade de um determinado contaminante.

3.1. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), dispondo sobre seus princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotadas pelo governo federal, isoladamente ou em regime de cooperação com estados, Distrito Federal, municípios ou particulares, com objetivo de gestão integrada e do gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos, incluindo os perigosos, as responsabilidades dos geradores e do poder público e os instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2012).

A definição de resíduos sólidos segundo a PNRS em seu artigo 3°, inciso XVI:

> Resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, Lei n° 4.740, de 02 de agosto de 2010).

Já os resíduos sólidos urbanos (RSU), segundo a Lei 12.305 em seu artigo 13 item I, subitem i, são definidos como: os originários de atividades domésticas em residências urbanas (resíduos domiciliares) e os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana (resíduos de limpeza urbana) (BRASIL, 2012).

Esgotando todas as possibilidades de tratamento e recuperação destes resíduos por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, estes, segundo a PNRS, tornam-se rejeitos e não apresentam outra possibilidade a não ser a de dispô-los de forma ambientalmente adequada (PREFEITURA DE GOIÂNIA, 2016).

A composição física dos resíduos é importante para a seleção e operação de equipamentos e instalações, na otimização de recursos e consumo de energia e na análise e projeto de aterros sanitários (Kenji, C. I., 2012).

Kenji afirma que a composição efetiva dos resíduos que são depositados em aterros é muito variável entre municípios e regiões, dependendo, entre outros fatores, da condição econômica, porte, distribuição territorial, cultura, coleta seletiva e sazonalidade.

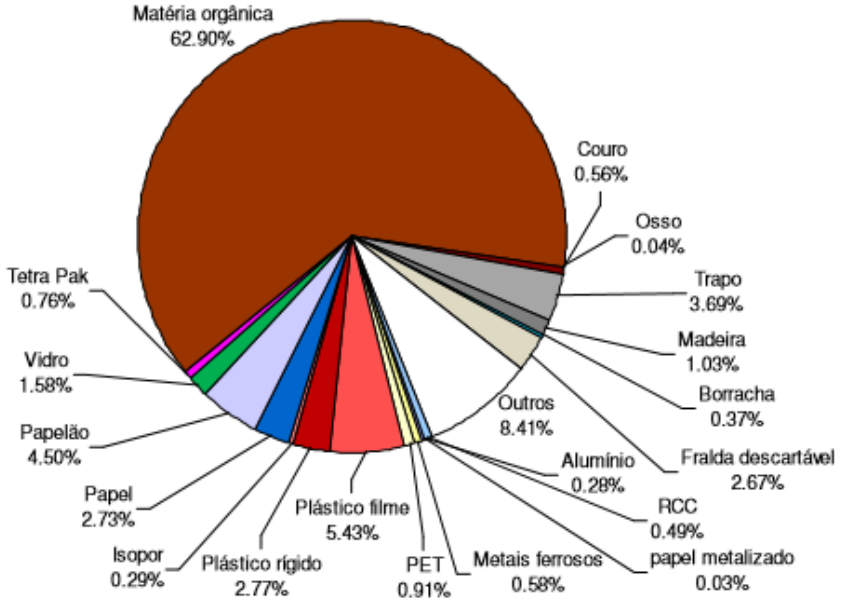
A composição gravimétrica dos resíduos que chegam até o aterro sanitário do município de Goiânia no ano de 2009, segundo a metodologia e amostragem de Ribeiro, representa uma composição de 19,8% de materiais recicláveis, 62,9% de orgânicos e 10% considerados como outros resíduos (GOIÂNIA, 2016).

Segundo o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Goiânia-PMGIRS (2016),

> Na coleta de rejeitos do município de Goiânia, realizada porta-a-porta através dos caminhões compactadores, 62,9% dos resíduos pertencem à classe de materiais orgânicos, 19,8% de materiais recicláveis, 0,49% de resíduos de construção civil (RCC) e 16,8% dos demais resíduos que não se enquadram nas classificações anteriores, como é o caso das fraldas descartáveis, couro, osso, trapo, madeira (material não lenhoso) e borracha, que mesmo apresentando características Classe II (ABNT 10.004/2004), não há ainda outro destino final a não ser o aterro sanitário (PMGIRS, 2016, p.165-166).

A composição gravimétrica é o percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra de lixo analisada. Assim, um estudo foi realizado por RIBEIRO *et al*. (2012) para conhecer a composição e as porcentagens dos materiais que compõem os resíduos sólidos domiciliares coletados no município de Goiânia (GO), por meio da coleta convencional realizada pela Companhia de Urbanização de Goiânia (Comurg), e destinados ao aterro sanitário municipal, sendo representados na Figura 1.

Figura 1: Composição detalhada dos resíduos domiciliares encaminhados ao aterro sanitário de Goiânia.



Fonte: RIBEIRO; PINHEIRO; MELO, 2012

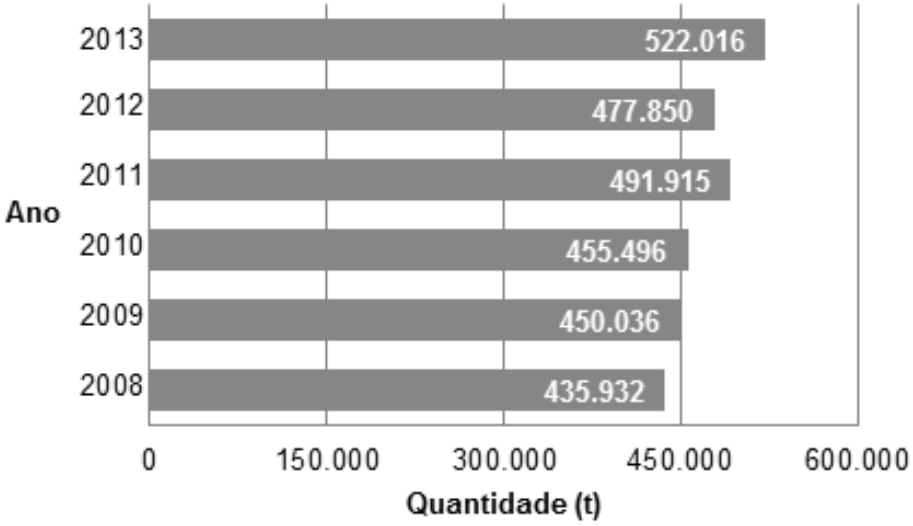
Segundo COMURG (2014) apud PMGIRS (2016) a área total do aterro abrange 451.000 m², onde são recebidos diariamente para tratamento e disposição final os resíduos domiciliares e públicos, resíduos da construção civil além de resíduos de empresas privadas classificados como de classe II (não perigosos) pela ABNT NBR 10.004/2004. Segundo a COMURG (2014) em média 1.572 toneladas de resíduos totais chegam ao aterro por dia, como referência o ano de 2014, totalizando 552.016 toneladas por ano, como referencia o ano de 2013 (Tabela 1 e Gráfico 1).

Tabela 1: Total de resíduos recebidos no Aterro Sanitário de Goiânia (2008 a 2014).

Ordem	Mês	Toneladas TOTAL ATERRO SANITÁRIO DE GOIÂNIA / 2014						
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
1	Janeiro	38.858	39.899	41.464	42.877	44.934	46.657	51.310
2	Fevereiro	36.010	32.904	36.329	38.244	42.743	41.314	43.485
3	Março	36.448	38.173	40.841	42.389	43.548	43.166	43.826
4	Abril	36.663	35.919	32.797	37.538	32.194	46.508	46.575
5	Maio	33.659	34.790	36.747	37.273	34.991	40.552	50.072
6	Junho	31.504	34.223	34.705	37.103	37.140	36.055	49.204
7	Julho	32.144	34.338	36.195	36.463	36.133	36.711	
8	Agosto	33.502	34.523	35.916	40.733	37.336	41.762	
9	Setembro	36.701	38.029	38.747	38.736	37.511	41.901	
10	Outubro	39.692	40.621	37.509	44.936	43.262	49.321	
11	Novembro	39.788	41.771	40.814	47.347	43.872	46.220	
12	Dezembro	40.964	44.845	43.434	48.276	44.184	51.849	
Totais		**435.932**	**450.036**	**455.496**	**491.915**	**477.850**	**522.016**	**284.471**
Média mês		**36.328**	**37.503**	**37.958**	**40.993**	**39.821**	**43.501**	**47.412**
Média dia		**1.194**	**1.233**	**1.248**	**1.348**	**1.309**	**1.430**	**1.572**

Fonte: COMURG, 2015.

Gráfico 1: Comparativos anuais de resíduos totais recebidos no Aterro Sanitário de Goiânia.



Fonte: COMURG, 2015.

3.2. GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A gestão integrada de resíduos sólidos é definida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos como: Conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável (PNRS, 2010).

A PNRS define gerenciamento de resíduos sólidos como sendo:

> Conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano Política Nacional de Resíduos Sólidos municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta lei (BRASIL, 2010, p.10).

Em seu Art. 10, a PNRS atribui ao Distrito Federal e aos municípios a gestão integrada dos resíduos sólidos gerados nos respectivos territórios, sem prejuízo das competências de controle e fiscalização dos órgãos federais e estaduais do Sisnama, do SNVS e do Suasa, bem como da responsabilidade do gerador pelo gerenciamento de resíduos.

Os estados são incumbidos de controlar e fiscalizar as atividades dos geradores sujeitas a licenciamento ambiental pelo órgão estadual do Sisnama (BRASIL, 2010).

O Art. 12 do Plano Nacional de Resíduos Sólidos de 2010 dispõe sobre o Sistema Nacional de informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (Sinir) que serão organizadas e mantidas em conjunto pela União, os estados, o Distrito Federal e os municípios, articulado com o Sinisa e o Sinima. Dessa forma, os municípios fornecem ao órgão federal responsável pela coordenação do Sinir todas as informações necessárias sobre os resíduos sob sua esfera de competência, na forma e na periodicidade estabelecidas em regulamento.

A elaboração de plano estadual de resíduos sólidos e plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, nos termos previstos pela lei 12.305/2010, é a condição para os estados e para os municípios terem acesso a recursos da União, ou por ela controlados, destinados a: empreendimentos e serviços relacionados à gestão de resíduos sólidos; e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos, respectivamente, ou para serem beneficiados por incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade.

O Município possui competência para organizar e prestar os serviços públicos de interesse local, entre eles as tarefas de limpeza pública como coleta, transporte, tratamento e disposição do lixo municipal. Esta se fundamenta na Constituição Federal que exige a edição de quatro leis articuladas formando a base do sistema de planejamento municipal composto por: Plano Diretor, Plano Plurianual, Diretrizes Orçamentárias e Orçamentos Anuais (PREFEITURA DE GOIÂNIA, 2016).

3.3 FORMAS DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A única forma de destinação dos resíduos sólidos urbanos para a grande maioria dos municípios brasileiros é ainda a disposição final de resíduos que muitas vezes não ocorre da maneira correta, sendo que em aterros sanitários é uma das formas ambientalmente adequadas (KENJI, 2012).

Das formas de disposição finais existentes as mais comuns e utilizadas são lixões e aterro sanitário. O lixão consiste em depositar o lixo coletado no solo, sem compactação ou cobertura dos resíduos, a céu aberto e este se torna atrativo a vetores de doenças como

mosquitos, baratas, ratos, moscas e germes patológicos, sem nenhum critério sanitário para prevenir que o solo e o subsolo não sejam contaminados alcançando o lençol freático (FADINI PEDRO S.; FADINI ALMERINDA. B, 2001). Na maioria são clandestinos, pois não possuem tratamento nem controle para gases e chorume produzidos. Acrescenta-se a esta situação o total descontrole quanto aos tipos de resíduos recebidos nestes locais, ocorrendo até mesmo a disposição de resíduos de origem de serviços de saúde e de processos industriais (KENJI, 2012).

Aterro sanitário por sua vez é definido pela NBR 8419 ABNT, como:

> Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário (NBR 8419, 1992, p.1).

De acordo com a NBR 13896/1997 da ABNT, recomenda-se a construção de aterros com vida útil mínima de 10 anos. O seu monitoramento deve prolongar-se, pelo menos, por mais 20 anos após o seu encerramento.

3.4 PERCOLADO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS: CHORUME

FADINI e FADINI (2001) explicam o que vem a ser chorume:

> Chorume é o líquido que escoa de locais de disposição final de lixo. É resultado da umidade presente nos resíduos, da água gerada durante a decomposição dos mesmos e também das chuvas que percolam através da massa do material descartado. É um líquido com alto teor de matéria orgânica e que pode apresentar metais pesados provenientes da decomposição de embalagens metálicas e pilhas. A composição final do chorume é fruto do tipo de lixo depositado e do seu estado de degradação (FADINI S.; FADINI B., 2001, p. 12).

Jucá (2014) trata a composição química do chorume como variável, dependendo da idade do aterro e dos eventos (chuva, sol) que ocorreram antes da amostragem do mesmo.

> Por exemplo, se o chorume é coletado durante a fase ácida, o pH será baixo, porém parâmetros como DBO5, COT, DQO, nutrientes e metais pesados deverão ser altos. Contudo durante a fase metanogênica o pH varia entre 6,5 e 7,5 e os valores de DBO5, COT, DQO e nutrientes serão significativamente menores (JUCÁ, 2010, p.6).

Historicamente, os lixões têm sido construídos em vales, nas proximidades ou dentro de leitos de cursos d’água o que torna o chorume um agente de comprometimento de recursos hídricos,

além de disporem dos resíduos a céu aberto permitindo que o chorume escoe e infiltre no solo contaminando as águas subterrâneas (FADINI S.; FADINI B., 2001).

Os aterros sanitários Classe I e Classe II têm as suas construções pautadas em normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que prevê impermeabilização do terreno e o tratamento do chorume gerado. Dessa forma em caso de eventuais infiltrações existem poços de monitoramento abertos nas proximidades do aterro que permitem a avaliação constante da qualidade das águas subterrâneas e a tomada de decisões (FADINI S.; FADINI B., 2001).

No Brasil, é comum fazer o tratamento do chorume "*in situ*", onde se utiliza com muita frequência as lagoas biológicas, que necessitam de uma área muito grande o que é uma dificuldade encontrada por cidades como Goiânia pela proximidade com locais habitados. Ainda há o fato de que o sistema de tratamento biológico por lagoas não reduz significativamente a quantidade de nitritos, nitratos, amônia e metais pesados presente no meio, o que pode acarretar em uma contaminação dos cursos d'água (JUCÁ, 2014).

Dessa forma, ainda segundo Jucá (2014), muitos projetos utilizam a técnica de recirculação de chorume para diminuir a quantidade de líquidos a serem tratados, porém em épocas chuvosas o sistema pode chegar ao limite da sua capacidade e, segundo esse autor, a recirculação de chorume deve ser aplicada quando se monitora a umidade ou grau de saturação do lixo, pois além de elevar seu peso específico, pode provocar inibição do processo de biodegradação.

3.5 ENSAIOS DE TOXICIDADE COM MINHOCAS

Segundo Andréa (2010), as atividades antrópicas introduzem vários compostos xenobióticos no ambiente, como os agrotóxicos e fertilizantes de uso agrícola, ou metais, derivados de petróleo, e outros subprodutos e resíduos provenientes de atividade industrial.

> Grande parte desses compostos atinge o ambiente por aplicação ou descarga direta, ou de forma indireta, por volatilização, percolação e dispersão, expondo e comprometendo a saúde dos organismos ali presentes assim como do próprio ambiente (ANDRÉA, 2010).

O conhecimento do grau e das formas de poluição por meio de monitoramento ambiental é fundamental, tendo em vista o potencial de persistência, ou o de transformação em outros

compostos e de complexação dos xenobióticos com moléculas naturais (ANDRÉA, 2010, p.96).

As análises químicas dos compostos separadamente não retratam seu impacto no ambiente e os efeitos sobre o ecossistema e os organismos, além de não dar resposta sobre qual tipo de agente químico é responsável pela toxicidade e informações sobre interações entre substâncias. Desse modo, faz-se necessária a avaliação do comportamento e da toxicidade de um elemento ou composto no solo por sistemas biológicos (organismos ou parte deles) que detectam os efeitos tóxicos e deletérios das substâncias ou agente tóxico ou mistura nos organismos vivos, permitindo avaliar da substância a sua medida nociva, como e onde se manifestam seus efeitos (MAGALHÃES; FERRÃO FILHO, 2008).

O solo é fonte de água e nutrientes para plantas e outros organismos, e é um importante agente tampão de mudanças de temperatura e do fluxo de água entre a atmosfera e as águas subterrâneas, atua como reservatório de nutrientes e como habitat para organismos decompositores na ciclagem e disponibilização de nutrientes. Visto a importância do solo é possível afirmar que a poluição do ecossistema edáfico pode ter consequências importantes para todas as formas de vida e também na qualidade de alimentos, da água e da atmosfera (ANDRÉA, 2010) e, dessa forma, realizar testes ecotoxicológicos desse compartimento pode fornecer respostas sobre os seus reais níveis de contaminação e quais as consequências sobre a fauna do solo e, também para a saúde humana.

> Os testes toxicológicos são realizados com organismos indicadores que devido as suas características de pequeno limite de tolerância ecológica a determinadas substâncias químicas, apresentam alguma alteração, seja ela fisiológica, morfológica ou comportamental quando expostos a determinados poluentes (MAGALHÃES; FERRÃO FILHO, 2008, p.359).

Estes testes apresentam várias normas e procedimentos padronizados que devem ser seguidos para que as respostas sejam consideradas válidas.

Dentre os organismos-teste utilizados para se avaliar a toxicidade em um solo, as Oligochaetas, popularmente conhecidas como minhocas, se destacam por ser um importante grupo de organismos constituintes da macrofauna do solo e representarem uma alternativa para investigar a toxicidade, pois se encontram distribuídas na maior parte da biomassa dos solos tropicais. As minhocas são ímpares por sua habilidade em integrar os processos físicos, químicos e biológicos do ecossistema edáfico (ANDRÉA, 2010).

No Brasil observou-se uma grande importância das interações existentes entre espécies e o ambiente em que se encontra, dessa forma, a abrangência dos ensaios de toxicidade permite serem realizados tanto em campo quanto em condições controladas de laboratório, em que os resultados se apresentam mais próximos das reais condições dos organismos ou em que possuem o maior controle sobre fatores externos, respectivamente (BIANCHI, 2013).

Testes com minhocas do gênero *Eisenia* são aceitas internacionalmente, permitem a padronização de estudos e comparações internacionais além de fornecer estimativas sobre toxicidade relativa às espécies endêmicas. Além disso, permitem avaliações preliminares em relação a doses de poluentes estudados serem dados em intervalos, fornecem estimativas iniciais sobre a concentração sem efeito observável para a exposição contínua dos organismos (ANDRÉA, 2010). Ainda segundo esse autor, pesquisas vêm demostrando que tratamentos de solos com doses subletais dos poluentes e os estudos de longo prazo com minhocas fornecem respostas de bioindicação de diferentes compostos.

Um dos testes de grande representação é o de evitação, também conhecido como ensaio de fuga, realizado conforme norma ISO 17512-1, 2008. O comportamento de evitação é a tendência (de um organismo) para evitar o solo de teste ao preferir o solo de controle, solo este que possui todas as características do solo teste, exceto a presença de contaminante (ISO 17512-1, 2008).

Já o ensaio de toxicidade aguda, também de grande importância e representação, realizado conforme ABNT NBR 1553/2007, tem como princípio a exposição de minhocas à amostra de solo contaminado e, após dias determinados de exposição é verificado qual a quantidade de organismos expostos e mortos.

3.6 ESTUDOS SIMILARES

Ribeiro *et al*. (2012) fizeram um estudo em que analisam a possibilidade de se reduzir a concentração de cobre por meio de vermicompostagem, ou seja, a degradação da matéria orgânica pelas minhocas. Sabendo-se que as minhocas têm a capacidade de transformar a matéria orgânica em húmus através da passagem da matéria orgânica pelo tubo digestivo e sendo eliminada. A vermicompostagem foi desenvolvida em minhocários verticais e horizontais construídos em laboratório do Centro Universitário UNIVATES, em Lajeado –

RS. Ao serem expostas ao cobre as minhocas *Eisenia andrei* acumulavam o metal no organismo e não diminuíam a concentração do metal nos substratos, no húmus e no solo. Constatou-se que o húmus tem a capacidade de amenizar os efeitos tóxicos do cobre para as minhocas conforme testes de fuga e o número de minhocas sobreviventes em relação ao solo. A concentração letal para as minhocas foi de 1000 mg/Kg.

No estudo realizado por Gomes *et al*. (2016) amostras do solo de dois cemitérios do município de Santa Maria –RS foram analisadas no laboratório de Engenharia Ambiental do Centro Universitário Franciscano fazendo-se ensaio de toxicidade aguda com oligochaetas adultas da espécie *Eisenia andrei* para verificar a biodisponibilidade de metais tóxicos no solo. Os autores concluiram que dentre os metais tóxicos que podem ser liberados no solo de cemitérios em condições inadequadas, cromo e níquel quando em concentrações elevadas são os que têm maior potencial de afetar a vida das minhocas.

Bianchi (2013) realizou ensaios para avaliar os possíveis efeitos tóxicos do resíduo de mineração de bauxita (lama vermelha) sobre as minhocas *Eisenia andrei* com o teste de evitamento e outro ensaio para avaliação do efeito tóxico do resíduo sobre processos fisiológicos após exposição das minhocas por um período mais longo, segundo o ensaio de reprodução da norma ISO 11268-2. Como conclusão foi observada que as minhocas tiveram sua produção de jovens praticamente reduzidas a zero na dose de 10% dos resíduos.

Park *et al*. (2008) realizaram estudo com o objetivo de investigar os efeitos do carvão ativado e do carvão ativado em pó na capacidade de remoção de metano dos solos da cobertura de aterro utilizando minhocas. O solo do aterro sanitário municipal em Kwangju, Kyngido, Coréia do Sul, foi testado em laboratório. O resultado deste estudo mostrou que as minhocas e o carvão ativado em pó aumentam a capacidade de remoção do metano do solo de cobertura do aterro. Com base no estudo, um solo de cobertura de aterro adequadamente gerenciado deve ser capaz de conseguir uma redução maior nas emissões atmosféricas de CH_4 em comparação com o mesmo aterro sem qualquer alteração da cobertura do solo.

Estudo realizado por Mo *et al*. (2012) analisou a toxicidade do solo contaminado com cádmio. Minhocas do gênero *Eisenia* foram usadas no teste de toxicidade em solo contaminado por cádmio retirado da Aldeia Zhangziying, Distrito de Daxing, Pequim, China, e uma amostra de controle não contaminado foi coletado a no máximo 500 m do local contaminado.

Neste estudo, foram detectadas alterações nos níveis de expressão de quatro genes (MTs, annetocina, calreticulina e peptídeos antimicrobianos) relacionados à fisiologia da minhoca através da técnica de reação em cadeia da polimerase PCR em tempo real através de um período de incubação de 70 dias com diferentes doses de tratamento com cádmio no solo. A expressão de MT (família de proteínas) pode ser induzida por baixas doses de cádmio e mostrou uma correlação positiva significativa ($p < 0,01$) com as doses de cádmio. A expressão de genes de Annetocina reduziu-se com o aumento da concentração de cádmio no solo e teve uma correlação negativa significativa ($p < 0,01$) com as doses de cádmio. Estes dois genes tinham potencial para serem desenvolvidos como biomarcadores para o solo contaminado com cádmio.

A expressão dos outros dois genes, calreticulina e peptídeos antimicrobianos, foi induzida em doses mais baixas de cádmio (expressão genética máxima a 0,6 mg / kg para calreticulina e 6 mg / kg para peptídeos antimicrobianos) e inibida em doses elevadas. Nenhuma correlação significativa ($p > 0,05$) foi encontrada para estes dois genes para as concentrações de cádmio do solo, assim, eles podem não ser candidatos adequados como biomarcadores em solo contaminado por cádmio.

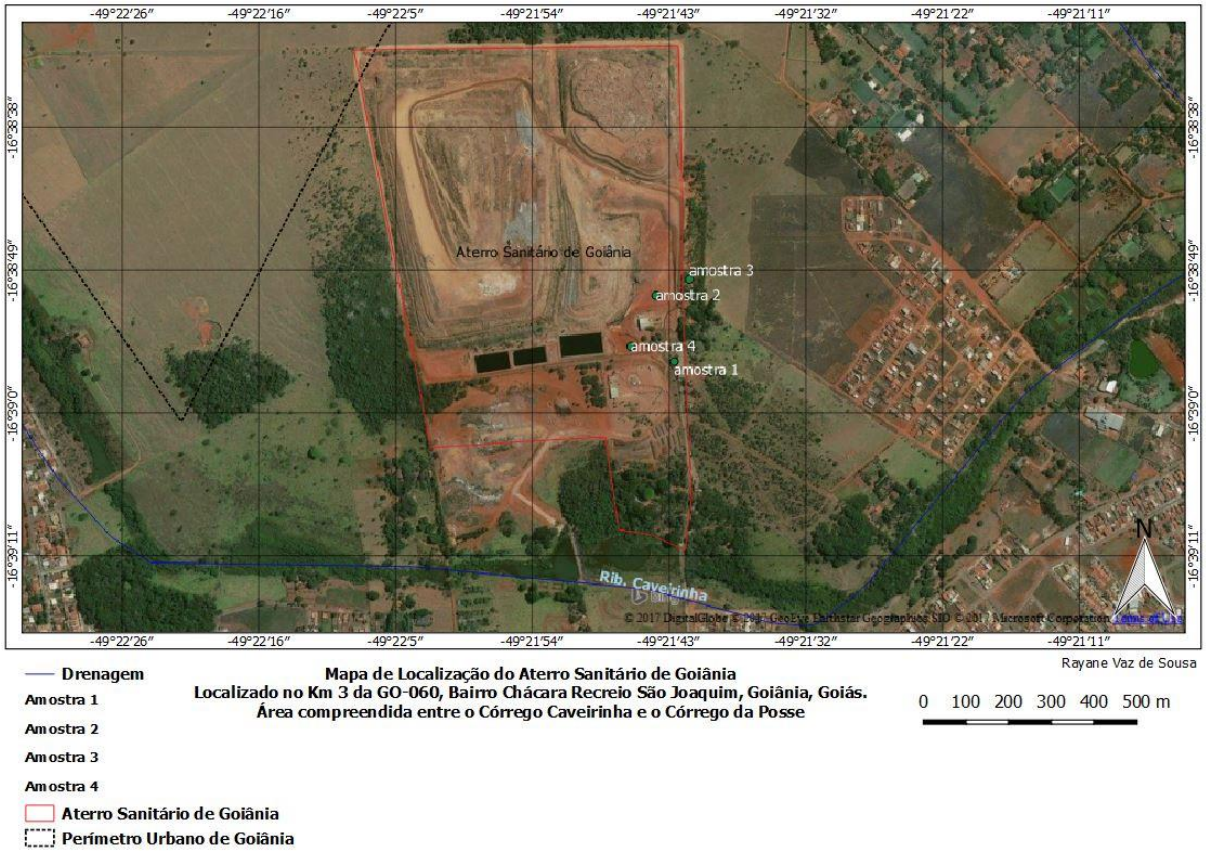
4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo segue os seguintes procedimentos elencados a seguir.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

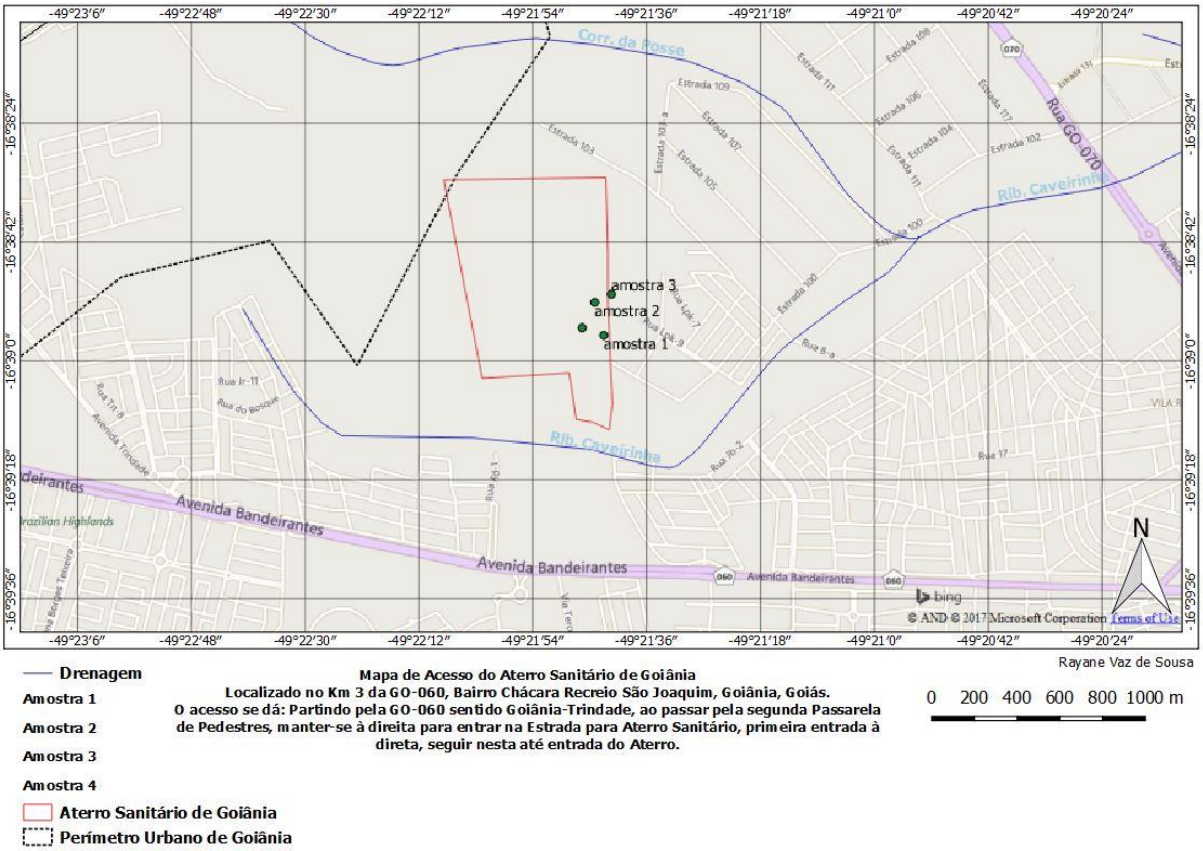
Para a determinação da toxicidade do solo, escolheu-se como área de estudo o Aterro de resíduos de Goiânia, localizado no quilômetro 3 da rodovia estadual GO-060, no bairro Chácara Recreio São Joaquim, saída para o município de Trindade, região Noroeste da capital, entre o Córrego da Posse e o Caveirinha, estado de Goiás, conforme mostram as Figuras 2 e 3.

Figura 2: Mapa de Localização do Aterro Sanitário no município de Goiânia indicando os locais de coleta de amostras de solo.



Fonte: Bing Aerial, Rayane Vaz, 2017.

Figura 3: Mapa de Acesso do Aterro Sanitário no município de Goiânia.



Fonte: Bing Road, Rayane Vaz, 2017.

A área onde hoje está localizado o aterro de resíduos de Goiânia já era usada anteriormente para a disposição e resíduos sólidos. Segundo GOIÂNIA (2016), sua atividade teve início em 1983 através da disposição de resíduos diretamente sobre o solo e, após dez anos de uso, em 1993, foram realizadas obras para a impermeabilização deste solo, nos locais onde foram possíveis, e sua adequação como aterro sanitário.

A área total do Aterro tem acesso limitado por cerca e possui instalação administrativa adequada, com aproximadamente 107 funcionários em setores específicos. "O maciço apresenta impermeabilização da base e realização de cobertura diária dos resíduos com solo e demais resíduos Classe A - Resolução CONAMA 307/2002" (PMGIRS, 2016).

Ainda segundo levantamento do PMGIRS (GOIÂNIA, 2016)

> A Unidade de Processamento conta ainda com os seguintes elementos: drenagem de gases com tubos de concreto, drenos com cabeçote de captação de gás, tubulação de manilha de concreto preenchida com pedra marroada e sistema convencional de queima de gases; drenagem de águas pluviais; drenagem de chorume com drenos horizontais do tipo "espinha de peixe"; sistema de tratamento de chorume através de três lagoas de estabilização para posterior destinação a ETE da SANEAGO no período chuvoso e recirculação no maciço no período seco, através de caminhão

> pipa; vigilância no horário diurno e noturno; monitoramento ambiental através procedimentos sistemáticos de coleta de amostras; análise das amostras coletadas; registro, armazenamento e processamento dos dados obtidos em conformidade com o órgão ambiental; poços de monitoramento de lençol freático (6 pontos); duas (02) plataformas de pesagem de caminhões (PMGIRS, 2016, p.191).

Os resíduos coletados pelos caminhões coletores da COMURG chegam até a portaria do aterro e são pesados na balança de carga de caminhões e seguem para fazer a deposição dos resíduos na área destinada no aterro onde são espalhados e compactados na célula e posteriormente são cobertos por solo. Há drenos de percolado pelos quais o chorume percola até lagoas anaeróbicas e ali se acumulam de onde vai ser transportado para a Estação de Tratamento de Esgoto. O gás produzido no aterro é drenado e queimado.

Um diagnóstico atual do aterro foi realizado e descrito pelo PMGIRS (GOIÂNIA, 2016):

> De acordo com os dados fornecidos pela AMMA, são apresentadas a seguir as principais observações referentes ao diagnóstico atual do Aterro Sanitário de Goiânia: O funcionamento do Aterro Sanitário de Goiânia apresenta-se prejudicado desde o final do ano 2012; O maciço de resíduos foi parcialmente desativado e a descarga de RSU, desde então, passou a ser efetuada sob a área de expansão do aterro; A área de expansão do aterro não foi devidamente impermeabilizada e não possui drenos de chorume e gases, conforme projeto inicial, elaborado pela empresa DBO Consultoria; A pequena porção da área de expansão do aterro, utilizada atualmente encontra-se limitada pelas duas redes de transmissão da CELG; Atualmente, o líquido percolado é direcionado a duas lagoas anaeróbias e uma lagoa facultativa. Por falta de manutenção e operação adequada, dentre outros fatores, as lagoas de tratamento foram desativadas, tornando-se apenas lagoas para o depósito de chorume; Devido à falta de impermeabilização do local e ausência de lagoa de recalque, conforme Projeto, existe a possibilidade de extravasamentos de líquidos para a rede coletora de águas pluviais; O Aterro Sanitário de Goiânia não possui Licença Ambiental de Operação para o maciço; O Aterro Sanitário de Goiânia não possui Licença Ambiental Instalação para a Área de Expansão (PMGIRS, 2016, p.195).

4.2 COLETA DE AMOSTRAS

Foram realizadas visitas ao Aterro Sanitário de Goiânia no mês de abril de 2017 onde inicialmente foram coletadas amostras de quatro diferentes pontos da área do solo do Aterro (Figura 4 e Tabela 2) para análises toxicológicas realizadas no Laboratório de Estudos Experimentais (Laboratório Casa Verde) da Escola de Engenharia Civil e Ambiental e análises físicas e químicas realizadas no Laboratório de Solos da Escola de Agronomia, ambos da Universidade Federal de Goiás.

Figura 4: Área em que foram coletadas as amostras e localização dos quatros pontos amostrados.

Fonte: Google Earth; Autora. (2017).

Tabela 2: Coordenadas geográficas dos pontos onde foram coletadas as amostras de solo e uma breve descrição dos mesmos.

PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	DESCRIÇÃO
1	16° 38’ 57.78” S	49° 21’ 44.22” O	**Referência**
2	16° 38’ 52.44” S	49° 21’ 45.66” O	**Área de expansão**
3	16°21’ 43.02” S	49° 38’ 51.54” O	**Mata**
4	16° 38’ 47.64” S	49° 21’ 47.64” O	**Lagoa**

Fonte: GPS Etrex10; Autora. (2017).

A coleta de amostras do solo dos quatro pontos da área de estudo foi definida a partir de informações técnicas fornecidas pela Companhia de Urbanização de Goiânia (Comurg) como o perfil geotécnico da área de instalação do aterro, a variação do nível do lençol freático ao longo do ano e o projeto geotécnico das células sanitárias. A coleta foi realizada de forma manual, utilizando uma pá, descartando-se o solo superficial do perfil, utilizando-se apenas a camada de 10 a 20 cm do perfil do solo com o auxílio de escavadeira manual.

A escolha de coletar a uma profundidade de 20 cm decorre devido a resíduos que podem estar presentes ou misturados nessa massa de solo superficial. Para cada ponto de amostragem a amostra retirada foi embalada em sacos plásticos resistentes (Figura 5), homogeneizados, lacrados, etiquetados e encaminhados ao Laboratório de Estudos Experimentais.

Figura 5: Amostras de solo embaladas em sacos plásticos resistentes e etiquetadas.

Fonte: Autora. (2017).

A primeira amostra coletada – Ponto 1 - (Figura 6) foi da área próxima ao poço de monitoramento, solo este que será utilizado como referencia para os ensaios devido a possível ausência de contaminação, analisando a topografia, direção do fluxo das águas subterrâneas e a localização da área utilizada para disposição dos resíduos, considerando que a contaminação não chegue à este ponto.

Figura 6: Coleta de amostras de solo no Ponto 1- área de monitoramento do aterro sanitário.

Fonte: Autora. (2017)

A coleta da segunda amostra foi realizada – Ponto 2 - (Figura 7) na área de expansão do Aterro que irá começar a receber os resíduos, próxima de onde já é depositado os resíduos sólidos do Aterro. O terceiro ponto coletado – Ponto 3 - (Figura 8) foi na mata preservada. E o quarto ponto – Ponto 4 - (Figura 9) foi na área próximo às lagoas de chorume.

Figura 7: Coleta de amostra no Ponto 2 - área de expansão do aterro.

Fonte: Autora. (2017).

Figura 8: Coleta de amostra no Ponto 3 – área de mata preservada.

Fonte: Autora. (2017).

Figura 9: Coleta de amostra no Ponto 4 - área próxima à lagoa de chorume.

Fonte: Autora. (2017).

4.3 ANÁLISE FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO

As amostras de solo foram avaliadas física e quimicamente para verificação de pH, matéria orgânica, fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Alumínio, Hidrogênio, Capacidade de troca de cátions (CTC) e Metais Pesados.

4.3.1 Determinação da umidade

Utilizando a metodologia da ABNT NBR 15537 de 2007, a Umidade inicial das amostras foi verificada colocando-se 10 g de cada solo *in natura* em recipientes e levando à estufa de

secagem com temperatura de 105°C por 24 horas e pesando-se depois a massa resultante nos recipientes após a secagem (Figura 10).

Figura 10: Procedimento para a determinação da umidade das amostras de solo.

Fonte: Autora. (2017).

A fórmula aplicada para o cálculo da umidade inicial foi a seguinte.

$$\boldsymbol{Umidade\ inicial}\ (\%) = \frac{(\boldsymbol{Pu}-\boldsymbol{Ps})}{\boldsymbol{Ps}}\boldsymbol{x100}$$

Equação 1

Onde: Pu é a massa de 10 g do substrato; Ps é a massa resultante após a secagem de Pu em estufa com temperatura aproximada de 105 °C por 24 h.

Como a umidade final das amostras de solo não estavam na faixa para realização do ensaio de 35% a 45 % foi adicionada água processada (água com condutividade menor que 10 µS/cm, após tratamento por destilação, desionização ou ultrapurificação) para a correção da umidade conforme a equação 2.

$$Volume\ de\ água\ processada\ necessária\ (mL) = \frac{(Umidade\ final - Umidade\ inicial)x\ M}{100}$$

Equação 2

Os resultados da umidade inicial de cada amostra, o volume de água ultrapura adicionada à 250 g de solo de cada amostra para se obter umidade final de 35% se encontram na tabela a seguir.

Tabela 3: Resultados da umidade inicial e volume de água ultrapura adicionada.

Amostra	1	2	3	4
Umidade inicial	17,15%	21,34%	15,42%	21,25%
Volume (mL)	45	34	49	34

Fonte: Autora (2017).

4.3.2 Determinação de pH

Primeiramente, a amostra de solo foi triturada e passada em uma peneira de malha 2,5 mm e depois se secou a amostra em estufa de secagem à 50°C por 24 horas. Adicionou-se 100 mL de solução $CaCl_2$ com concentração 0,01 mol por Litro à 10 gramas de amostra de solo seca. A suspensão foi mantida na mesa agitadora por 30 minutos e por fim o pH da solução foi determinado por meio do pHmetro digital (EMBRAPA, 2011).

4.3.3 Determinação de matéria orgânica (M.O)

A determinação da M.O. se dá através do ensaio para se calcular o Carbono Orgânico. Primeiramente 20 g de solo in natura foram triturados em gral e passados em uma peneira de malha 0,177 mm e depois pesou-se 0,5 g do solo triturado colocando-o em erlenmeyer de 250 mL e adicionou-se 10 mL de dicromato de potássio 0,0667 M. Incluiu-se um branco com 10 mL da solução de dicromato de potássio e anotou-se o volume de sulfato ferroso amoniacal gasto.

Posteriormente colou-se um tubo de ensaio de 2,5 cm de diâmetro e 25 cm de altura cheia de água na boca do erlenmeyer, funcionando este como condensador. Aquecendo em placa elétrica até a fervura branda, durante 5 minutos.

Após deixar esfriar e juntar 80 mL de água destilada, medida com proveta, 2 mL de ácido ortofosfórico e 3 gotas do indicador difenilamina, titulou-se com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,1 mol L-1 até que a cor azul desaparecesse, cedendo lugar à verde. Anotou-se o número de mililitros gastos e assim foi calculado o carbono orgânico pela fórmula.

$$C(g/kg) = (40 - \text{volume gasto}) \times f \times 0{,}6$$

Equação 3.

Onde f = (40/volume de sulfato ferroso gasto na prova em branco)

A percentagem de matéria orgânica (g/kg) foi calculada multiplicando-se o resultado do carbono orgânico por 1,724. Este fator é utilizado em virtude de se admitir que, na composição média do húmus, o carbono participa com 58% (EMBRAPA, 2011).

Todos os demais ensaios físicos e químicos foram realizados utilizando a Metodologia do Manual de Métodos de Análise do Solo, da Embrapa, 2011, 2ª edição.

4.3.4 Capacidade de troca de cátions (CTC)

A CTC do solo é definida como sendo a soma total dos cátions que o solo pode reter na superfície coloidal prontamente disponível à assimilação pelas plantas. Estes cátions adsorvidos são removidos por soluções salinas de amônio, cálcio, bário e soluções de ácidos diluídas e posteriormente determinadas por métodos volumétricos, de emissão ou absorção atômica. (EMBRAPA, 2011)

Para a determinação do CTC das amostras coletadas, pesou-se 7,5 g de solo e colocou-se em um erlenmeyer de 250 mL e adicionou-se 150 mL de solução KCL 1 mol/L. O erlennmeyer foi fechado com rolha de borracha e agitou-se com movimentos circulares, evitando molhar a rolha. Esse procedimento foi repetido várias vezes ao dia. Depois se desfez o montículo que se forma na parte central do fundo do erlenmeyer e deixou-se em repouso durante uma noite. Pipetou-se para o erlenmeyer de 200 mL duas alíquotas de 50 mL da parte sobrenadante da solução, para determinação do alumínio extraível, cálcio + magnésio e cálcio trocáveis (EMBRAPA, 2011).

4.4 ENSAIOS DE ECOTOXICIDADE TERRESTE

Os ensaios de evitamento e de toxicidade aguda, foram realizadas com minhocas da espécie *Eisenia andrei* seguindo o protocolo descrito na norma Brasileira ISO 17512-1 (2008) e ABNT NBR 15537 (2007), respectivamente. Os organismos testes utilizados nos ensaios foram adquiridos da empresa Casa das Minhocas.

4.4.1 Ensaio de Evitamento

Os recipientes utilizados para realizar os ensaios foram caixas plásticas com tampas. Inicialmente fizeram-se divisões em duas seções de tamanhos iguais por uma divisória

plástica removível, como ilustrado na Figura 11. Com uma caneta de acetato, foi escrito na tampa, de um dos lados da divisão feita na caixa a palavra “Controle” e após foi preenchido com o solo de controle (amostra do ponto 1) e do outro lado “Solo-teste” preenchido com o solo de ensaio. Em cada uma das seções foram adicionados massa de solo iguais, pesados em balanças de modo a obter uma profundidade de 50 a 60 mm de solo, em quantidade aproximada de 250 mg de solo de cada um dos lados das seções e por réplica, onde foram realizadas três réplicas para cada ponto de solo-teste.

Figura 11: Imagens ilustrativas das caixas plásticas com tampa e divisória para os dois tipos de solo para o ensaio de Evitamento.

Fonte: Autora (2017).

O solo contaminado foi peneirado (tamanho das aberturas, 2 mm) ajustado para cerca de 60% da capacidade máxima de retenção de água. O teor ótimo de água foi atingido verificando que não havia água parada ou água livre aparecendo quando o solo foi comprimido (ISO 17512-1, 2008).

Dez minhocas adultas da espécie *Eisenia andrei* com massa individual médio de 300 mg foram expostas ao mesmo tempo na linha média de separação dos dois solos (retirou-se a

divisória de plástico antes de adicionar as minhocas) e com o cuidado de não misturar os solos fez-se o cobrimento dos organismos com o solo e repetiu-se o procedimento para as três réplicas.

As tampas transparentes das caixas plásticas foram perfuradas para que permitisse o intercâmbio gasoso entre o meio de ensaio e a atmosfera, para ter acesso à luz também, porém não permitindo que as minhocas escapassem pela caixa, sendo bem vedada a tampa.

As caixas foram mantidas em laboratório nas mesmas condições de temperatura (22°C) e luminosidade por 48 horas. *Eisenia andrei* é uma espécie de minhoca que deve ser mantida em temperatura entre 18°C e 22°C (ABNT NBR 15537:2007) e fonte de luz capaz de fornecer uma intensidade de luz constante de 400 lux a 800 lux e fotoperíodo 12 h/12 h.

Após 48 horas de ensaio os solos-controle e teste em cada recipiente foram separados por inserção da divisória ainda na câmera de ensaio e foram contados os organismos vivos presentes em cada seção do recipiente.

4.4.2 Ensaio de Toxicidade Aguda

O princípio deste método consistiu na exposição de adultos da espécie de minhoca *Eisenia andrei* a amostra de solo por 14 dias, em sistema estático (ABNT NBR 15537, 2007). Os organismos testes selecionados possuíam idade superior a dois meses, com presença de clitelo e peso individual médio de 300 mg, pertencendo a lotes homogêneos. As minhocas foram aclimatadas no solo natural, por 24 horas antes de sua utilização no ensaio.

Foi realizado o ajuste da umidade ideal para 35% e o pH foi verificado dentro da faixa de ensaio (5,5 e 7,0) estabelecido pela ABNT NBR 15537 de 2007.

O ensaio definitivo foi realizado conforme a Tabela a seguir:

Tabela 4: Resumo das condições de ensaio de toxicidade aguda com a minhoca *Eisenia andrei*

Requisitos	**Condição**
Tipo de ensaio	Estático
Duração	14 dias
Organismo-teste	Adultos de *Eisenia andrei* (peso médio de 300 mg cada)
Substrato	Solo
Quantidade de solo teste por recipiente	Aproximadamente 250 g
Número mínimo de organismos por replicata	10
Temperatura	18°C a 22°C
Fotoperíodo	Luz contínua (luminosidade de 400 lux a 800 lux)
Alimentação	Nenhuma
Efeito observado	Mortalidade
Expressão dos resultados	Tóxico ou não tóxico

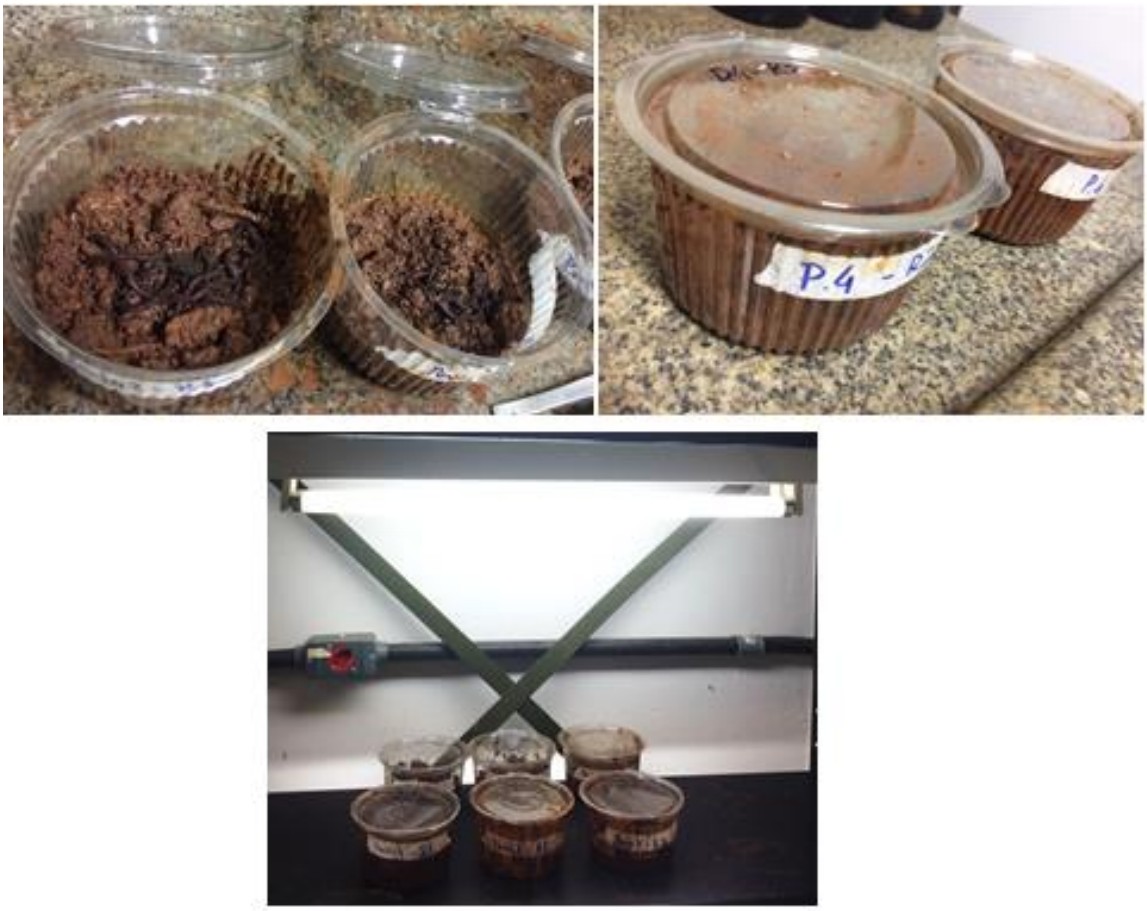
Fonte: Adaptada de ABNT NBR 15537 (2007).

Em cada uma das três réplicas foram adicionados sobre o substrato 10 organismos previamente aclimatados como descrito anteriormente e não se fez alimentação dos organismos durante o ensaio. A uma temperatura de 22 °C foi mantida durante os 14 dias de ensaio, com luz contínua 400 lux a 800 lux e fotoperíodo de 12h/12h de luz/escuro.

Ao final do 7° dia do ensaio a mortalidade foi observada e registrada. A mortalidade foi avaliada pela transferência do solo do recipiente-teste para uma bandeja em que os organismos-testes foram segregados e aplicou-se estímulo mecânico com o auxilio de uma pinça (Figura 13) e então as minhocas foram consideradas mortas se não mostrassem nenhuma reação ao estímulo mecânica sendo assim esta removida do ensaio.

Após o registro da mortalidade do 7° dia os organismos vivos e o solo foram recolocados nos recipientes-testes de origem para dar continuidade ao ensaio até o final. Diariamente foi observada e mantida a temperatura do ambiente e a luminosidade através de lâmpadas programadas para desligarem a cada 12 horas.

Figura 12: Recipientes utilizados na realização do ensaio de Toxicidade Aguda.



Fonte: Autora (2017).

Figura 13: Estímulo mecânico com a pinça para verificar a sobrevivência das minhocas.

Fonte: Autora (2017).

4.5 ANÁLISE DE DADOS

A análise de dados de cada ensaio descrito no tópico anterior se dá por meio da descrição contida nas normas estabelecidas para cada um dos ensaios.

4.5.1 Ensaio de Evitamento

Para verificar a validade do conjunto de teste, foi verificada a homogeneidade de distribuição dos organismos fazendo o enchimento de todo o recipiente de ensaio com o mesmo solo e assegurando que a orientação dos recipientes de ensaio na sala foi a mesma. Em média, a proporção de organismos estava dentro da faixa de 60%: 40% para câmara de duas seções.

Para um único teste de concentração, caso desse ensaio, o número médio de indivíduos no final do ensaio no solo de teste foi comparado com a média do tratamento de solo-controle utilizando o teste exato de Fisher. Os resultados que mostrassem um número médio significativamente menor de organismos sobreviventes no solo de teste, em relação ao do solo-controle, indicariam uma resposta de evitação (ou preferência para o solo-controle) para o solo de teste.

Se for observado uma preferência das minhocas maior que 80% pelo solo controle caracterizamos o solo teste como apresentando “função de habitat limitada”, ou seja, que a substância pode provocar impacto quando presente no ambiente, pois torna o solo inapto para ser utilizado como suporte para o desenvolvimento e manutenção da vida animal e vegetal.

4.5.2 Ensaio de Toxicidade Aguda

O resultado referenciará o tempo de exposição do ensaio e será expresso de forma qualitativa (tóxico ou não tóxico).

Já para a determinação quantitativa, ao final do ensaio, com o solo-teste foi realizada uma análise de variância Anova - 2 fatores e posteriormente a avaliação da significância dos resultados foi feita aplicando o teste de Tukey. Não havendo diferença estatisticamente significativa na mortalidade em relação ao controle, o resultado será expresso como “não tóxico”, mas se houver diferença significativa, o resultado será expresso em “tóxico”.

A análise de variância compara médias de diferentes populações para verificar se estas possuem médias iguais ou não. Assim, essa técnica permite que vários grupos sejam comparados a um só referencial.

Ou seja, a análise de variância é utilizada quando se quer decidir se as diferenças amostrais observadas são reais (causadas por diferenças significativas nas populações observadas) ou casuais (decorrentes da mera variabilidade amostral). Portanto, essa análise parte do pressuposto que o acaso só produz pequenos desvios, sendo as grandes diferenças geradas por causas reais (Milone, 2009).

Uma análise de variância (ANOVA) rejeita ou não a hipótese de igualdade de médias populacionais de diversos grupos, mas não determina quais grupos têm médias estatisticamente diferentes (VIEIRA, 2006). Dessa forma, para verificar quais grupos são diferentes entre si, foi realizado um teste de Tukey, *a posteriori*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos ensaios e testes realizados geraram-se os resultados e discussões que seguem.

5.1 ANÁLISES - QUÍMICAS E FÍSICA DO SOLO

Os valores dos parâmetros físico-químicos analisados nesse estudo podem ser verificados na Tabela 6.

Tabela 5: Resultados das análises físico e químicas do solo

AMOSTRA	M.O. (%)	pH (CaCl2)	P(Mehl)	K (mg/dm³)	Ca (cmolc/dm³)	Mg (cmolc/dm³)	H+Al	CTC (cmolc/kg)
Referencia	1	6,3	1,8	44	0,6	0,4	1,9	3
Expansão	0,5	7	2,1	220	0,5	0,3	1	2,4
Mata	1,1	6,9	1,2	150	0,7	0,3	1,1	2,5
Lagoa	0,2	6,7	1,2	170	0,6	0,4	1,2	2,6

Fonte: Laboratório de Solos, EA, UFG, 2017.

Além destes, foram analisados presença de metais pesados como Chumbo, Cádmio e Níquel que não foram detectados nas amostras e por isso não são citados na Tabela 6. É importante mencionar, que devido às limitações financeiras, de tempo e de laboratórios da UFG que realizassem a determinação de outros metais pesados, foram determinadas as concentrações apenas destes três metais mencionados anteriormente. Portanto, faz-se necessário frisar que o ideal seria analisar a presença de outros metais pesados para verificar se algum deles que se torna prejudicial ao solo e sua biota.

Os resultados dos parâmetros físico-químicos foram comparados com a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) n° 420 de 28 de dezembro de 2009.

O potencial hidrogeniônico de todas as amostras mostrou-se dentro da faixa de neutralidade (6,0 a 7,0), ideal para a maioria das plantas (SILVA; ANJOS), ou seja, o pH do solo favorece o crescimento microbiológico. Já as minhocas apresentam maior porcentagem de sobrevivência em pH baixo. As amostras apresentarem pH acima dessa faixa ótima (5 a 6), porém toleram valores de pH de 5 a 8 afetando negativamente suas atividades (LOURENÇO, 2010).

Supõe-se que o valor de pH das amostras acima de 6,0 influenciou o experimento significativamente pelo fato das minhocas terem morrido em maior número nas amostras que possuíram pH mais alto, exceto a amostra da mata por ser a amostra com maior teor de

matéria orgânica, sendo um fator positivo para o desenvolvimento das minhocas. Apresentarem debilitação dos movimentos várias minhocas das amostras 2 e 4 ao serem estimuladas com a pinça, mostrando movimentos lentos e estarem aparentemente mais magras.

Segundo Barros *et al*. (2015) a quantidade de matéria orgânica é a principal propriedade responsável pela retenção de metais no solo, para a biodisponibilidade de plantas a faixa ideal seria entre 1,5 e 3,0 (EMBRAPA, 2011). Observou-se que todas as amostras possuem um baixo teor de MO, logo, os metais que podem estar presentes no percolado dos resíduos não são retidos no perfil de solo amostrado (20 cm de profundidade), desta forma, a possível presença de metais pesados no chorume que possivelmente infiltraram no solo percolaram profundidades maiores onde o teor de MO seja maior.

Diretamente ligado ao valor do pH está o valor da Capacidade de Troca de Cátions (CTC). Valores de CTC maiores que 5 cmolc/kg demonstram uma alta capacidade de troca de cátions com o meio (COTTA *et al*., 2006), ou seja, o baixo valor de CTC das amostras é devido ao valor de pH, havendo maior mobilidade do contaminante no solo, como foi falado para a matéria orgânica pois cerca de 25% a 90% do valor de CTC dos solos de superfície pode ser atribuída a MO (BARROS *et al*., 2015).

Segundo Matias e Costa (2012), a dependência que a CTC apresenta da MO pode vir a ser um problema visto que ela sofre degradação. Sendo assim, deve-se atentar para a possibilidade de que haver a liberação dos metais que estão retidos nas camadas superficiais para as camadas inferiores do solo, podendo até mesmo chegar ao lençol freático e assim sendo necessária uma análise da qualidade da água subterrânea para verificar se os contaminantes presentes no percolado dos resíduos comprometeram sua qualidade. Como se pode observar na tabela 4 os pontos 1 (referência) e 3 (mata) possuem praticamente o mesmo teor de matéria orgânica, mas a CTC da amostra do ponto 3 é menor, possivelmente porque a matéria orgânica da amostra 3 está menos humificada (MATIAS; COSTA, 2012).

Já para as amostras 2 (expansão) e 4 (lagoa) observam-se menores valores de CTC e valores de MO bem próximos, porém ainda assim o maior valor de MO do ponto 2 apresenta menor valor de CTC se comparado com o do ponto 4, indicando novamente, que o grau de humificação da matéria orgânica do ponto 2 é mais baixa.

Porém, nota-se que não há significante alteração da CTC de uma amostra para outra. É importante ressaltar que altas CTC não representam, necessariamente, um solo fértil, e sim

que o solo tem uma alta capacidade de reter cátions – os quais podem não ser totalmente benéficos para a flora e biota do solo (KANASHIRO, 2015).

Essa análise evidenciou que o percolado dos resíduos dispostos na área do aterro pode causar alteração significativa nas características geoquímicas do solo, como a CTC baixa.

Quanto à umidade inicial das amostras, os resultados estão na tabela 7.

Tabela 6: Umidade inicial das amostras

AMOSTRA	Umidade
Referencia	17,15%
Expansão	21,34%
Mata	25,42%
Lagoa	21,25%

Fonte: Laboratório de Saneamento, EECA, UFG; Autora, 2017.

Como se pode observar todas as amostras estavam com umidade a baixo da faixa ótima para realização dos ensaios de 35 a 45%. Foi então adicionado água ultrapura em quantidades necessárias para atingir 35 % de umidade. Considerando-se que as minhocas respiram através de sua pele e que sua morte ocorre quanto sua pele seca (LOURENÇO, 2010), a alta umidade do solo é de suma importância para se evitar o óbito das minhocas (KANASHIRO, 2015).

5.2 ENSAIO DE EVITAMENTO

Os ensaios foram montados no dia 15/05/2017 e após 48 horas foi realizada a contagem no dia 17/05/2017. Os resultados do número de minhocas encontradas em cada seção encontram-se na tabela a seguir.

Tabela 7: Resultados do teste de Evitamento após 48 horas.

Amostra	2 - R1	2 - R2	2 -R3	3 - R1	3 - R2	3 - R3	4 - R1	4 - R2	4 - R3
Controle	8	8	7	3	4	3	8	10	9
Solo teste	2	2	3	7	6	7	2	0	1

Fonte: Autora, 2017.

Legenda: 2 – R1 = ponto2 réplica 1 e, assim sucessivamente.

Para analisar esses resultados foi feito o teste de Fisher para cada ponto, comparando-os com o controle. Os resultados estão nas tabelas a seguir.

Tabela 8: Teste de Fisher para o Ponto 2 comparando com o Controle (Ponto 1).

Média	2,74	1,57
Variância	0,02	0,05
Observações	2,00	2,00
gl	1,00	1,00
F	0,33	
P(F<=f) uni-caudal	0,33	
F crítico uni-caudal	0,01	

Fonte: Autora, 2017.

O valor em vermelho (P>0,05) demonstra que não há significância entre o controle e o ponto 2, ou seja, não há comportamento de evitar o ponto 2 das minhocas em relação ao controle (Ponto 1).

Tabela 9: Teste de Fisher para o Ponto 3 comparando com o Controle (Ponto 1).

Média	1,87	2,55
Variância	0,04	0,02
Observações	2,00	2,00
gl	1,00	1,00
F	1,86	
P(F<=f) uni-caudal	0,40	
F crítico uni-caudal	161,45	

Fonte: Autora, 2017.

O valor em vermelho (P>0,05) demonstra que não há significância entre o controle e o ponto 3, ou seja, não há comportamento de evitar o ponto 3 das minhocas em relação ao controle (Ponto 1).

Tabela 10: Teste de Fisher para o Ponto 4 comparando com o Controle (Ponto 1)

Média	3,08	0,50
Variância	0,01	0,50
Observações	2,00	2,00
gl	1,00	1,00
F	0,03	
P(F<=f) uni-caudal	0,10	
F crítico uni-caudal	0,01	

Fonte: Autora, 2017.

O valor em vermelho (P>0,05) demonstra que não há significância entre o controle e o ponto 4, ou seja, não há comportamento de evitar o ponto 4 das minhocas em relação ao controle (Ponto 1).

Dessa forma, pelo ensaio de evitamento não foi verificada toxicidade das amostras de solo coletadas durante esse estudo. Isso pode indicar que o solo, nos pontos analisados, não possui contaminação por percolado do aterro. No entanto, é preciso considerar outros fatores que também podem ter influenciado nos resultados encontrados.

Um desses fatores se refere ao curto período de tempo desse ensaio. Como o ensaio de evitamento ocorre em curto período de tempo (48 H) as minhocas ficam expostas à possíveis contaminantes do solo por pouco tempo. Esse fato demonstra a importância do ensaio de toxicidade aguda que também foi realizado nesse estudo e cujos resultados são expostos a seguir.

5.3 ENSAIO DE TOXICIDADE AGUDA

Os ensaios foram montados no dia 15/05/2017 e após 7 dias foram realizadas as primeiras contagens no dia 22/05/2017. Posteriormente, após mais 7 foi realizadas a segunda contagem das minhocas vivas no dia 29/05/2017. Após a realização dos testes de toxicidade aguda realizados em laboratório conforme a norma estabelecida, os resultados encontram-se nas tabelas a seguir.

Tabela 11: Resultados do ensaio de Toxicidade Aguda após 7 dias.

Amostra	2 - R1	2 - R2	2 -R3	3 - R1	3 - R2	3 - R3	4 - R1	4 - R2	4 - R3	Controle 1	Controle 2	Controle 3
Vivas	0	4	3	10	10	10	7	6	7	8	9	8

Fonte: Autora, 2017.

. Legenda: 2 –R1= ponto 2, réplica 1 e assim sucessivamente.

Tabela 12: Resultados do ensaio de Toxicidade Aguda após 14 dias.

Amostra	2 - R1	2 - R2	2 -R3	3 - R1	3 - R2	3 - R3	4 - R1	4 - R2	4 - R3	Controle 1	Controle 2	Controle 3
Vivas	0	2	3	10	10	10	6	6	7	8	9	8

Fonte: Autora, 2017.

Para analisar e discutir os resultados dos testes de toxicidade aguda, as comparações foram feitas considerando as diferenças estatisticamente significantes. Desta forma, serão apresentados os resultados realizados considerando as análises estatísticas ANOVA e Teste de Tukey.

Tabela 13: Análise dos resultados pela ANOVA 2 fatores.

Fonte de variação	F	Valor-P	F crítico
Amostras/Blocos	0,38	0,55	4,49
Pontos/Colunas	71,38	p<0,05	3,24
Interações	0,15	0,93	3,24

Fonte: Autora, 2017.

Assim, verifica-se que não houve relação estatisticamente significativa entre as amostras (blocos de dias 7 e 14 dias) e nem entre as interações (mesmos pontos em 7 e 14 dias). Já a interação entre os diferentes pontos de amostragem mostra que a sobrevivência das minhocas foi diferenciada entre os pontos. No entanto, a ANOVA não identifica entre quais pontos houve significância. Desta forma, foi realizado um teste *a posteriori*, o teste de Tukey, e os resultados estão apresentados na tabela a seguir.

Tabela 14: Teste de Tukey.

Interação	diff	p.adj
P.3:14_dias-P.2:14_dias	8,33	0,000001
P.3:7_dias-P.2:14_dias	8,33	0,000001
P.2:7_dias-P.3:14_dias	-7,67	0,000002
P.3:7_dias-P.2:7_dias	7,67	0,000002
P.2:14_dias-P.1:14_dias	-6,67	0,00001
P.1:7_dias-P.2:14_dias	6,67	0,00001
P.2:7_dias-P.1:14_dias	-6,00	0,00004
P.2:7_dias-P.1:7_dias	-6,00	0,00004
P.4:7_dias-P.2:14_dias	5,00	0,00031
P.4:14_dias-P.2:14_dias	4,67	0,00066
P.4:7_dias-P.2:7_dias	4,33	0,00142
P.2:7_dias-P.4:14_dias	-4,00	0,00311
P.4:14_dias-P.3:14_dias	-3,67	0,007
P.3:7_dias-P.4:14_dias	3,67	0,007
P.4:7_dias-P.3:14_dias	-3,33	0,015
P.4:7_dias-P.3:7_dias	-3,33	0,015
P.4:14_dias-P.1:14_dias	-2,00	0,283
P.1:7_dias-P.4:14_dias	2,00	0,283
P.3:14_dias-P.1:14_dias	1,67	0,487
P.3:7_dias-P.1:14_dias	1,67	0,487
P.4:7_dias-P.1:14_dias	-1,67	0,487
P.1:7_dias-P.3:14_dias	-1,67	0,487
P.3:7_dias-P.1:7_dias	1,67	0,487
P.4:7_dias-P.1:7_dias	-1,67	0,487
P.2:7_dias-P.2:14_dias	0,67	0,989
P.4:7_dias-P.4:14_dias	0,33	1,000
P.1:7_dias-P.1:14_dias	0,00	1,000
P.3:7_dias-P.3:14_dias	0,00	1,000

Fonte: Autora, 2017.

Os resultados em vermelho são os significativos entre as amostras de pontos e dias diferentes entre eles, a um nível de significância de 95%. Os pontos que apresentaram valores de sobrevivência estatisticamente significativos, ou seja, $p < 0,05$, foram P.2:14_dias-P.1:14_dias e P.1:7_dias-P.2:14_dias. Em ambos os casos, a sobrevivência dos organismos-teste (minhocas) foi maior no solo controle (Ponto 1).

Os pontos que se relacionam com o ponto de referência possuem a mesma análise por apresentarem significância ente o ponto 2 e o ponto 1 como nas interações: P.2:14_dias-P.1:14_dias (Ponto 2 em 14 dias e Ponto 1 em 14 dias) e P.1:7_dias-P.2:14_dias (Ponto 1 em 7 dias e Ponto 2 em 14 dias): A significância entre estes se deu pelo fato de no Ponto 2, área de expansão do aterro, sobreviver uma média de 2 minhocas e já no Ponto 1, controle, sobreviver uma média de 8 minhocas. Isso se dá pelas características físico-químicas analisadas anteriormente. No ponto 1 a matéria orgânica e CTC são mais altos do que no ponto 2, o que favorece a sobrevivência das minhocas assim como o pH do ponto 1 ser mais baixo do que do ponto 2. O mesmo se aplica as interações entre: P.2:7_dias-P.1:14_dias (Ponto 2 em 7 dias e Ponto 1 em 14 dias) e P.2:7_dias-P.1:7_dias (Ponto 2 em 7 dias e Ponto 1 em 7 dias).

As outras interações que apresentaram significância são aqueles entre o Ponto 2 e o Ponto 3: P.3:14_dias-P.2:14_dias e P.3:7_dias-P.2:14_dias; P.2:7_dias-P.3:14_dias e P.3:7_dias-P.2:7_dias apresentam os mesmos valores de significância pela diferença em que no Ponto 2 sobreviveram média de 2 minhocas e no ponto 3 sobreviveram todas as minhocas. O que pode ser explicado pelo maior teor de matéria orgânica no ponto 3 e consequentemente maior CTC o que provavelmente favoreceu a sobrevivência das minhocas neste ponto de amostragem e por ser uma mata aparentemente preservada, sem interferências de atividades antrópicas. E, também, pelo valor do pH do ponto 3 ser o mais baixo do que do ponto 2, sendo mais desfavorável para as minhocas.

6 CONCLUSÕES

A partir da caracterização do solo, concluiu-se que o solo do aterro sanitário de Goiânia não é o ambiente mais favorável para a sobrevivência das minhocas *Eisenia andrei*, visto que a acidez do solo é relativamente alta se comparada com a faixa favorável de sobrevivência delas, assim como a umidade possui valor baixo, podendo ocorrer o ressecamento da pele das minhocas e consequentemente morrerem. Entretanto, fazendo-se a manutenção da umidade do solo das amostras e considerando o baixo teor de matéria orgânica do solo, foi possível a realização e conclusão satisfatória dos ensaios e testes sem interferências de condições adversas do meio.

Nos ensaios de Evitamento não houve significativa resposta do comportamento das minhocas em se evitar os solos testes e "fugir" para o solo controle, isso pode ser explicado pelo período de tempo considerado pequeno de 48 horas em que as minhocas foram expostas. A resposta das minhocas ao contato com amostra 2 foi de que cerca de 73% preferiram o solo controle. Na amostra de solo 3 cerca de 33% das minhocas preferiram o solo controle e na amostra 4 cerca de 90% preferiram o solo controle. Conclui-se que apenas a amostra do solo do ponto 4 possui função de habitat limitada por ser a única que apresentou uma preferência igual ou maior de 80% das minhocas pelo solo controle. Dando seguimento em busca de maiores respostas optou-se por realizar um teste a longo prazo, de 14 dias, no ensaio de Toxicidade Aguda.

No ensaio de Toxicidade Aguda foi verificada significância dos resultados somente entre os pontos 1 e 2 entre seus diferentes dias, entre os pontos 2 e 3 e seus diferentes dias e entre os pontos 2 e 4 e seus diferentes dias. O fato do ponto 2 ser o mais aparente nesses resultados explica-se pela localização do ponto ser em uma área bem próxima ao local em que são dispostos os resíduos sólidos e que é uma área que receberá em breve a disposição dos resíduos (área de expansão do aterro), sendo este local com o menor teor de matéria orgânica e menor valor de CTC, se tornando inóspito às minhocas.

O resultado do teste de toxicidade aguda pode ser expresso em "tóxico" apenas para a amostra 2 por possuir maior mortalidade comparado aos pontos 1, 3 e 4. As demais amostras tiveram resultado expresso em "não tóxico".

Esses resultados dos ensaios realizados não permitem informar com clareza se o solo do aterro sanitário se encontra contaminado pelo percolado dos resíduos sólidos pois as conclusões se deu relacionando os resultados dos ensaios com as minhocas com as análises físico e químicas de características do solo como pH, CTC e M.O, provavelmente pelo fato de que a profundidade de solo de 20 cm utilizado nos ensaios pode ser considerada muito superficial, sendo necessários estudos sobre a possibilidade de se fazer testes de metais pesados em profundidades maiores. Portanto, testes como os realizados neste estudo não são recomendáveis para se verificar a contaminação do solo de locais de disposição de resíduos sólidos pelo resultado inconclusivo.

Além disso, para obter informações mais precisas acerca da toxicidade do solo do Aterro Sanitário de Goiânia seria preciso realizar novos ensaios com outros metais pesados e outras características físicas e químicas e compostos, assim como realizar testes de reprodução e de biomassa com as minhocas, que demandam mais tempo. Assim seria possível determinar com maior precisão qual substância ou componentes podem estar presentes no solo deste Aterro e possivelmente verificar os efeitos deletérios para as minhocas.

Por fim, o fato de não ter sido encontrado contaminação na camada amostrada de 20 cm do perfil do solo não indica que outros compartimentos, tal como a água subterrânea, não possa estar sendo contaminada. Dessa forma, estudos futuros devem considerar a possibilidade da contaminação da água.

7 REFERÊNCIAS

ANDRÉA, M. M. O Uso De Minhocas Como Bioindicadores De Contaminação De Solos. Número Especial, v. 2, n. 2, p. 95–107, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8849 - Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos. Abnt., 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8419 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Abnt., p. 1–7, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15537 - Ecotoxicologia terrestre - Ecotoxicidade aguda - Método de ensaio com minhocas. Abnt., 2007.

BARROS, R. G.; DIAS, P. P.; ARAÚJO, K. A. A. Investigação de passive ambiental na área do aterro sanitário de Hidrolândia, GO. Goiás, 2015.

BIANCHI, M. D. O. Ensaios Ecotoxicológicos como Ferramenta para Avaliação do Impacto Ambiental de Resíduos de Mineração Sobre o Solo. 2013.

BROLLO, M. J.; SILVA, M. M. Política e gestão ambiental em resíduos sólidos. Revisão e análise sobre a atual situação no Brasil. 21o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, n. 1, p. 27, 2001.

CHRISTINA, V. et al. Caderno técnico de reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos. p. 33, 2010.

COSTA, W.; MATIAS, D. N. Estudo químico de alguns pontos do solo superficial do aterro controlado do Botuquara. 2012.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise do Solo. Rio de Janeiro, RJ, 2011, 2ª edição revisada.

FADINI, P. S.; FADINI, A. A. B. Lixo: desafios e compromissos. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, p. 9–18, 2001.

FRAGOSO, C. ET AL. A Survey of Tropical Earthworms: Toxonomy, Biogeography and Environmental Plasticity. 1999.

GOMES, B. C. V. et al. Potencial toxicológico de metais presentes em solos de cemitérios de Santa Maria - RS. Revista Ambiente e Agua, v. 11, n. 1, p. 145–155, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 17512-1: Soil quality - Avoidance test for testing the quality of soils and the toxicity of chemicals on behaviour – Part 1: Test with earthworms (*Eisenia fetida* and *Eisenia andrei*). Geneva, 2008.

JACOBI, PEDRO ROBERTO; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo : desafios da sustentabilidade. Estudos Avançados, v. 25, n. 71, p. 135–158, 2011.

JUCA, F. REGEO2003-Jucá-GRS-UFPE. n. February 2014, 2016.

KANASHIRO, M. M., Avaliação da toxicidade do glifosato e da deltametrina em solo. São Carlos, SP, 2015.

LOURENÇO, N. M. G. Características da minhoca epígea *Eisenia foetida* – Benefícios, características e mais-valias ambientais decorrentes da utilização. Disponível no link: < https://www.slideshare.net/FuturambGSR/caractersticas-da-minhoca-epgea-eisenia-foetida-benefcios-caractersticas-e-maisvalias-ambientais-decorrentes-da-sua-utilizao> acessado em 28/06/2017.

MAGALHÃES, D. D. P.; FERRÃO, S. A Ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. Oecologia Australis, v. 12, n. 3, p. 355–381, 2008.

MILONE, Giuseppe. Estatística geral e aplicada. São Paulo: Centage Learning, 2009. ISBN 85-221-0339-9. Capítulo 12.

MMA. Plano nacional de resíduos sólidos. MMA, p. 106, 2012.

MO, X. et al. Molecular toxicity of earthworms induced by cadmium contaminated soil and biomarkers screening Journal of Environmental Sciences (China), 2012.

OLIVEIRA, F. A., Relatório de controle de recebimento de resíduos do Aterro Sanitário de Goiânia. Goiânia, 2015.

PARK, S. et al. Effects of earthworm cast and powdered activated carbon on methane removal capacity of landfill cover soils. Chemosphere, v. 70, n. 6, p. 1117–1123, 2008.

PEREIRA, R. Ensaio de evitamento com minhocas na avaliação de solos poluídos: uma atividade centrada na resolução de problemas para alunos do Ensino Básico. v. 1, p. 166–182, 2009.

PIOVANI, M. R.; COTTA, J. A. O.; REZENDE, O. O. Avaliação do teor de metais em sedimento do Rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira – Petar, São Paulo, Brasil. São Carlos, SP, 2005.

RIBEIRO ROSECLER et al. A absorção de cobre por minhocas da espécie *Eisenia andrei* em solos e húmus contaminados. p. 31–39, 2012.

RIBEIRO, R. G. M.; PINHEIRO, R. V. N.; MELO, D. A. Composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares encaminhados ao aterro sanitário do município do Goiânia (GO). III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, p. 1–5, 2012.

GOIÂNIA, 2016. Plano Municipal De Gestão Integrada De Resíduos Sólidos Do Município De Goiânia. 2016.

RODRÍGUEZ-CASTELLANOS, L.; SANCHEZ-HERNANDEZ, J. C. Earthworm biomarkers of pesticide contamination: Current status and perspectives. Journal of Pesticide Science, v. 32, n. 4, p. 360–371, 2007.

SISINNO, C. L. S., BULUS, M. R. M., RIZZO, A. C., MOREIRA, J. C. Ensaio de Comportamento com Minhocas (*Eisenia fetida*) para Avaliação de Áreas Contaminadas: Resultados Preliminares para Contaminação por Hidrocarbonetos. Rio de Janeiro, RJ, 2006.

VIEIRA, S. Análise de Variância (Anova). São Paulo: Atlas, 2006.

ZAR, J.H. 1999. Biostatistical Analysis. 4 ed, Prentice Hall: New Jersey, 663 pp.