



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
VITOR RODOLFO BECEGATO

**MONITORAMENTO DOS NÍVEIS DE METAIS PESADOS E APLICAÇÃO DA
TÉCNICA GAMAESPECTROMÉTRICA NO LIXÃO DESATIVADO DE LAGES-SC**

Palhoça
2015

VITOR RODOLFO BECEGATO

**MONITORAMENTO DOS NÍVEIS DE METAIS PESADOS E APLICAÇÃO DA
TÉCNICA GAMAESPECTROMÉTRICA NO LIXÃO DESATIVADO DE LAGES-SC**

Trabalho apresentado à Universidade do Sul de Santa Catarina para conclusão do curso de graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel.

Orientadora: Professora Marli Mari Joner da Silveira, MSc.

Palhoça

2015

VITOR RODOLFO BECEGATO

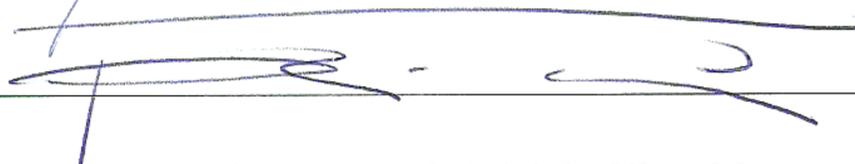
**MONITORAMENTO DOS NÍVEIS DE METAIS PESADOS E APLICAÇÃO DA
TÉCNICA GAMAESPECTROMÉTRICA NO LIXÃO DESATIVADO DE LAGES-SC**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária e aprovado em sua forma final pela Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 18 de novembro de 2015.



Professora Marli Mari Joner da Silveira, Msc.



Professor José Gabriel da Silva, Msc.



Fernanda Maria de Felix Vanhoni, Esp.

ABSTRACT

The indiscriminate outdoor launching of urban solid waste, in landfills, generates major impacts on the local environment. Leachate, a dark liquid that is originated from the partial decomposing of solid waste and contains organic compounds and heavy metals, ends up infiltrating itself into the soil of these places, contaminating them. Its leaking is still responsible from the contamination of hydric bodies that may cross these areas, making its waters inappropriate for many uses, including the human consumption. Local geology may result in higher concentrations of radioactive elements. Thus, the continuous monitoring of these areas is extremely necessary. The studied area in this work is the deactivated landfill of the municipality of Lages-SC. There were collected samples of superficial soils and water, on different and predetermined spots, which had their concentrations of heavy metals determined in a laboratory. Levels of radioactive elements and the radiation exposure dose were also analyzed, by the use of gammaspectrometry. Posteriorly, there were generated comparative tables between the obtained values and legal values for soils, water, radioactive elements and radiation exposure dose. There were also generated surface maps in order to represent the spatial distribution of radioactive elements and radiation exposure doses. The obtained results expose that the waters of the streams that cross the area possess a high degree of contamination, meanwhile the superficial soils have lower levels of the analyzed metals. Regarding the radiation exposure doses and the concentrations of radioactive elements, the area is considered safe. However, the analyzes of these and other parameters will continue to be performed, in order to properly monitor the environmental situation of the area.

Key words: Landfill. Heavy Metals. Water. Soils. Gammaspectrometry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização do Lixão desativado do município de Lages-SC.....	16
Figura 2 - Escorrimento de chorume a céu aberto.....	17
Figura 3 - Lixo em curso d'água oriundo do lixão.....	18
Figura 4 – Extração de amostra de solo com o auxílio de trado holandês.	19
Figura 5 - Embalagem da amostra de solos em saco plástico.	19
Figura 6 – Amostra de solo depois de etiquetada e identificada.	20
Figura 7 – Amostra de solo em bandeja.	20
Figura 8 – Identificação das amostras para a secagem.....	21
Figura 9 – Preparação das amostras para secagem.....	21
Figura 10 – Tela inicial do aplicativo PEICore.....	22
Figura 11 – Imagem Google Earth do Centro de Ciências Agroveterinárias da UDESC.....	23
Figura 12– Escolha da Projeção para georreferenciamento da imagem.....	24
Figura 13 – Dados de localização para georreferenciamento de imagens.....	24
Figura 14 – Valores de coordenadas geográficas dos marcadores de imagem.	24
Figura 15 – Aquisição de dados com o gamaespectrômetro Pico Environtec PGIS-2.....	25
Figura 16 – Interface do programa PEIView após o carregamento de um arquivo de dados. .	26
Figura 17 – Dados exibidos em formato de tabela pelo programa PEIView.	26
Figura 18 – Quadro de seleção de configurações para exportação de arquivos.....	27
Figura 19 – Arquivo em formato .txt para transferência.	28
Figura 20 – Marcação de um dos pontos coletados.....	29
Figura 21 – Mapa temático de superfície para valores de potássio.	34
Figura 22 – Mapa temático de superfície das concentrações de tório.	34
Figura 23 – Mapa temático de superfície das concentrações de urânio.	35
Figura 24 – Mapa temático de superfície para os valores de dose anual de exposição à radiação ionizante.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Concentrações em mg/kg de solo seco de metais pesados em amostras de solos... 31	31
Tabela 2 – Valores de metais (mg/kg), conforme a Resolução n. 420/2009 do Conama..... 32	32
Tabela 3 – Níveis de parâmetros radioativos referentes ao solo do lixão desativado de Lages-SC, comparados aos dados contidos na literatura..... 32	32
Tabela 4 – Valores das concentrações em (µg/L) das águas coletadas na rede de drenagem da área de influência do lixão desativado do município de Lages-SC..... 36	36
Tabela 5 – Parâmetros estatísticos relativos aos elementos analisados nas amostras de água.. 37	37
Tabela 6 – Valores máximos permitidos de concentração por classe de águas doces para os parâmetros analisados segundo a Resolução n. 357/2005 do CONAMA. 38	38

LISTA DE SIGLAS

°C - Grau Celsius.

µg - Micrograma.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.

cm – Centímetro.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente.

CV - Coeficiente de Variação.

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio.

GPS - Global Positioning System.

h - Hora.

IAEA - International Atomic Energy Agency.

kg - Quilograma.

L - Litro.

m² - Metro quadrado.

NBR - Norma Brasileira.

m² - Metro quadrado.

mg - Miligrama.

OD - Oxigênio Dissolvido.

mSv - MiliSievert.

nSv - NanoSievert.

OD - Oxigênio Dissolvido.

UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina.

USNRC - United States Nuclear Regulatory Commission.

UNT - Unidade Nefelométrica de Turbidez.

UTM - Universal Transversa de Mercator.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	JUSTIFICATIVA	12
1.2	OBJETIVO GERAL	12
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO.....	16
3.2	COLETAS E ANÁLISE DE AMOSTRAS DE SOLOS.....	18
3.3	AQUISIÇÃO DE DADOS GAMAESPECTROMÉTRICOS NAS CÉLULAS COMPOSTAS POR LIXO.....	22
3.3.1	Testes de equipamentos.....	22
3.3.2	Preparação para a aquisição de dados	23
3.3.3	Aquisição dos dados	25
3.3.4	Análises.....	26
3.4	COLETAS E ANÁLISE DE AMOSTRAS DE ÁGUA.....	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	CONCENTRAÇÕES DE METAIS PESADOS EM SOLOS	31
4.2	NÍVEIS DE ELEMENTOS RADIOATIVOS E DOSE DE RADIAÇÃO.....	32
4.3	CONCENTRAÇÕES DE METAIS PESADOS EM ÁGUA	36
5	CONCLUSÃO	40
6	MEDIDAS PASSÍVEIS DE ADOÇÃO NO LOCAL DE ESTUDO.....	41
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
	ANEXO A – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM DE SOLOS.....	48
	ANEXO B – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE ANÁLISE DE ELEMENTOS RADIOATIVOS E DOSE DE EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO IONIZANTE.....	49

1 INTRODUÇÃO

Devido ao aumento das taxas de crescimento da população mundial, a geração de resíduos sólidos também aumenta. Segundo Renou et al. (2008) e Baderna et al. (2011), um indivíduo pode gerar entre 0,5 a 4,5 kg de resíduos sólidos diariamente. Outros fatores também podem influenciar a geração de lixo, como por exemplo, variações climáticas, sazonais, hábitos e costumes da população, entre outros (MORAES, 2014). Atualmente, costuma-se enviar os resíduos sólidos gerados pela população a três diferentes destinos: lixões, aterros controlados e aterros sanitários.

Os lixões são locais onde os resíduos são depositados sem nenhum tipo de tratamento e que favorecem a contaminação do solo local e de lençóis freáticos subterrâneos devido, principalmente, à geração de chorume (AGENDA 21, 2013).

Os aterros controlados são caracterizados pela simples cobertura periódica dos resíduos dispostos com terra.

Já os aterros sanitários, de acordo com a NBR-8419 (ABNT, 1992), são uma técnica de disposição de resíduos no solo que faz uso de soluções de engenharia para minimizar os impactos ambientais e não conferir danos à saúde pública e sua segurança.

Originário da decomposição de matéria orgânica dos resíduos, o chorume é um líquido de coloração escura, constituído por resíduos orgânicos parcialmente biodegradados. Segundo Baird (2002), estão contidos no chorume contaminantes orgânicos e inorgânicos dissolvidos, em suspensão e microbianos, o que o torna extremamente nocivo ao meio ambiente. O chorume proveniente da decomposição desta massa de resíduos, escorre superficialmente, percola no perfil do solo (PORSANI et al., 2004; MARTINHO & ALMEIDA, 2006; MONDELLI et al., 2007) contaminando-o bem como o lençol freático. Os poluentes presentes no chorume, se atingirem os corpos d'água, podem ser assimilados por qualquer espécie aquática, sendo transferidos através da cadeia alimentar e bioacumulados por longos períodos de tempo (DI IACONI et al., 2011). Na Europa, os riscos ambientais gerados pelo chorume são considerados uma das maiores questões ambientais a ser resolvida, devido ao grande número de aterros sanitários existentes neste continente e a importância da proteção das águas superficiais e subterrâneas (BADERNA et al., 2011).

A própria desativação dos aterros sanitários por prefeituras e empresas particulares é inadequada, pois só é exigida e/ou realizada a cobertura das células de deposição do lixo com solo e o plantio de alguma espécie vegetal. A problemática paisagística do local é resolvida, mas não há o controle e o monitoramento dos passivos ambientais e do meio ambiente no

entorno do aterro (MORAES, 2014). No caso do local estudado, o lixão desativado do município de Lages-SC, a situação é bastante similar. Fato este que é evidenciado pelos resultados das análises conduzidas neste trabalho.

1.1 JUSTIFICATIVA

Os lixões são considerados verdadeiros passivos ambientais. Diante de tal contexto deve-se monitorá-los ao longo do tempo para que se conheça os impactos ambientais que os mesmos causam no meio ambiente. Neste sentido o presente trabalho foi desenvolvido procurando entender a dinâmica dos poluentes oriundos do lixão.

1.2 OBJETIVO GERAL

Fazer uma avaliação da situação do lixão desativado do município de Lages-SC em relação às concentrações de metais pesados e elementos radioativos, bem como aos níveis de exposição à radiação ionizante.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Determinar a presença de metais pesados em amostras de solos oriundos das células de deposição de lixo, de modo a comparar os valores obtidos com os previstos legalmente e investigar a influência da geologia local na difusão de chorume gerado pela decomposição dos resíduos;
- b. Determinar a concentração de elementos radioativos (Urânio, Tório e Potássio) e a dose de exposição à radiação, com o intuito de detectar possíveis anomalias no local de estudo e de efetuar um teste com o equipamento responsável pela aferição destes dados;
- c. Analisar parâmetros físico-químicos de amostras de água de córregos que atravessam a área do lixão desativado, comparando os valores aos legalmente preconizados e, assim, determinar a influência do chorume na qualidade da água dos pontos de amostragem;
- d. Propor soluções para a manutenção da área, visando sua recuperação ambiental e a segurança da população que habita suas cercanias.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A produção de lixo tem sido diretamente associada ao estágio de desenvolvimento de um país ou de uma região. O crescimento da renda per capita nas últimas décadas, especialmente em países subdesenvolvidos, gerou um aumento no consumo de bens duráveis e não duráveis. Além do avanço econômico e da melhor qualidade de vida das pessoas, outra consequência importante foi a geração de maiores volumes de resíduos sólidos diversos. Outros fatores também podem influenciar à geração de lixo, como por exemplo variações climáticas, sazonais, hábitos e costumes da população, entre outros.

No Brasil ainda existe uma enorme quantidade de aterros controlados e lixões, embora a prática amplamente utilizada para tratamento dos resíduos sólidos urbanos seja a disposição em aterros sanitários. No entanto, o uso de aterros sanitários no País como principal forma de tratamento dos resíduos sólidos não é justificada por argumentos técnicos, principalmente pela falta de conhecimento das alternativas tecnológicas disponíveis (BNDES, 2010).

Geralmente as áreas escolhidas para esse tipo de empreendimento apresentam características ambientais que não são adequadas para a implantação destes depósitos, como áreas de recarga de aquífero e divisores de água, solos com características físicas e químicas desfavoráveis, facilitando desta forma a mobilidade dos metais potencialmente tóxicos e dos compostos orgânicos que pode ser propiciada por uma série de fenômenos naturais como a lixiviação, percolação, arrastamento, solução, entre outros (LIMA, 2004).

Os dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil em 2012, feito pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2012), mostraram que a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil cresceu 1,3%, de 2011 para 2012, índice que é superior à taxa de crescimento populacional urbano no país no período, que foi de 0,9%.

Os “lixões”, como são conhecidos popularmente, são as medidas mais utilizadas para a disposição de resíduos sólidos, sendo empregado por cerca de 95% dos países que adotam essa forma de destinação ao lixo doméstico e/ou industrial (KJELDSEN et al. 2002; DI IACONI et al. 2011). Entretanto, grande parte dos aterros sanitários é construído de forma irregular e inadequada, sem nenhum critério de engenharia, como a correta impermeabilização das células onde será depositado o lixo. Além disso, na maioria dos casos não é considerado a periculosidade do material que será depositado, e os passivos ambientais envolvidos nesse tipo de empreendimento, que pode causar grandes prejuízos ao meio ambiente e à saúde pública.

Os principais passivos ambientais associados a um aterro sanitário são a produção de gás metano (CH₄) e o chorume. O chorume pode conter metais potencialmente tóxicos como chumbo, zinco, cádmio, arsênio, cromo, manganês, dentre outros, e ainda compostos orgânicos variados, que estão presentes nos diversos tipos de resíduos dispostos nos aterros sanitários.

O chorume pode conter metais potencialmente tóxicos como Chumbo (Pb), Zinco (Zn), Cádmio (Cd), Arsênio (As), Cromo (Cr), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Cobre (Cu), dentre outros, e ainda compostos orgânicos variados que estão presentes nos diversos tipos de resíduos dispostos nestes depósitos.

Além do problema de percolação do chorume no meio externo às células de deposição do lixo, existe ainda a questão da idade do aterro sanitário. A idade do aterro está relacionada ao tempo de deposição do lixo no local, ou seja, o período de tempo no qual o lixo depositado está sendo submetido a decomposição e a degradação. Quanto maior a taxa de degradação, maior é o efeito tóxico do chorume e mais difícil é o tratamento dessa substância e das áreas atingidas por ela (DI IACONI et al. 2011).

Segundo Braga et al. (2002), as principais alterações observadas nos recursos hídricos são: redução do teor de oxigênio dissolvido (OD) provocada pelo excesso de matéria orgânica biodegradável; crescimento excessivo de alguns organismos aquáticos devido ao excesso de nutrientes e transmissão de doenças pelos organismos patogênicos. Portanto, a presença de chorume no meio aquático pode prejudicar a fauna e a flora aquática e a saúde pública.

Quanto maior a taxa de degradação, maior é o efeito tóxico do chorume e mais difícil é o tratamento dessa substância e das áreas atingidas por ele (DI IACONI et al. 2011). Quanto mais antigo é o aterro, mais recalcitrantes e estáveis tornam-se as substâncias presentes no chorume, formando associações e complexos que permanecem por longo tempo no solo, facilitando assim seu transporte para as águas subterrâneas.

Além disso, alguns elementos radioativos, como Urânio (U), Potássio (K) e Tório (Th), podem estar presentes na referida área. Tais elementos podem emanar radioatividade, (ECHEVARRIA et al., 2001; NAVAS et al., 2002; SAN MIGUEL et al., 2003) sendo prejudiciais ao homem e aos animais.

O método gamaespectrométrico teve como propósito inicial, conforme Vasconcellos et al. (1994), a sua aplicação em prospecção mineral e mapeamentos geológicos. Entretanto, segundo Dickson et al. (1996), Dickson & Scott (1997), Wilford et al. (1997) e Thiessen et al. (1999) a gamaespectrometria começou a ganhar espaço em estudos ambientais e pedológicos.

A técnica consiste na medição da concentração em rochas e solos dos radioisótopos do potássio (^{40}K) e das séries do Urânio (^{238}U) e do Tório (^{232}Th), as principais fontes de radiação, de acordo com Becegato (2005).

Existem três tipos de radiação provenientes do interior dos átomos: partículas ou raios alfa, partículas ou raios beta e raios gama. As partículas alfa (α), de acordo com o autor, possuem um baixo poder de penetração em solos e rochas, já que possuem alta probabilidade de colisão com outras partículas. As partículas beta (β) são elétrons que resultam da transformação de um nêutron em um próton. A absorção completa das partículas β se dá em cerca de 1 metro no ar e têm penetração praticamente desprezível nas rochas (BECEGATO, 2005). Os raios gama (γ) consistem de radiação eletromagnética de alta energia emitida por um núcleo excitado quando este decai para um estado de menor excitação. Eletricamente neutros e constituídos de radiação eletromagnética (fótons) de frequência superior ao do espectro da luz visível e a dos raios X, os raios gama são emitidos quando os núcleos efetuam transições, por decaimento alfa, de estados excitados para os de energia mais baixa. Sua energia e capacidade de penetração dificultam a manipulação (BECEGATO, 2005).

Segundo Minty (1997), a capacidade de penetração dos raios gama é 100 vezes superior ao dos raios beta, podendo chegar a 30 metros em solos e a centenas de metros no ar. O autor enfatiza que isto se deve ao fato de que os raios gama não possuem massa nem carga elétrica.

Para efetuar as medições são utilizados os gamaespectrômetros, equipamentos que separam as radiações gama em duas ou mais componentes de energia. O detector, normalmente um cristal de iodeto de sódio ativado por tálio NaI(Tl), absorve a radiação gama e a transforma em pulsos luminosos ou cintilações. Estas cintilações são convertidas em sinais elétricos proporcionais à intensidade da luz, cujas medidas em Volts são separadas em classes, de modo a obter um espectro de energia dos raios gama incidentes (HANSEN, 1975).

A concentração dos elementos é diretamente proporcional à intensidade da radiação gama emitida pelo decaimento radioativo destes isótopos (WILFORD et al., 1997).

Os levantamentos podem ser feitos tanto por via aérea (por meio do uso de gamaespectrômetros acoplados em aeronaves) quanto terrestre, com o uso de equipamentos portáteis.

A radiação gama no solo é inversamente proporcional à densidade do meio que atravessa, sendo que qualquer matéria contida entre o emissor e o sensor pode afetar significativamente a detecção dos raios gama. Isto faz com que as medições radiométricas sejam essencialmente superficiais, tendo um alcance médio de 30 a 40 cm de profundidade (MINTY, 1988).

Diante da gravidade do problema, estudos devem ser realizados com o objetivo de monitorar a qualidade do solo, da água e do ar para que se faça um monitoramento constante desses passivos ambientais que seguramente vem agredindo o meio ambiente e trazendo consequências sérias à saúde humana.

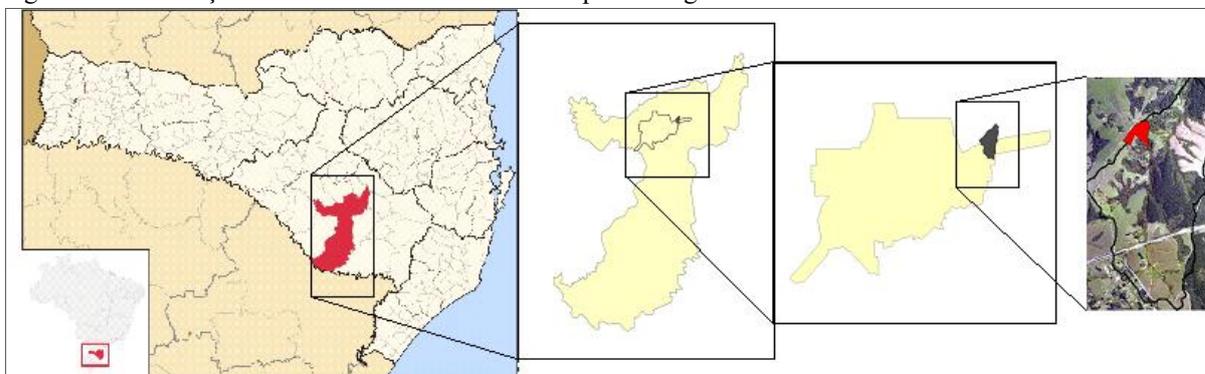
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO

O presente trabalho foi desenvolvido no antigo lixão do município de Lages-SC. A deposição de resíduos sólidos foi iniciada no ano de 1986 e encerrada em 2005. O lixão está localizado na margem esquerda da rodovia BR-282 no sentido Lages/Florianópolis. A área utilizada do lixão é de aproximadamente 48.000 m²; sua localização está compreendida entre as coordenadas geográficas 27°46'15,38" S e 50°15'10,92" O. O empreendimento está inserido em uma bacia hidrográfica com extensa rede de drenagem. À sua montante, fazem-se presentes algumas áreas de reflorestamento com plantio de pinheiros, residências de pequeno porte e áreas protegidas; entretanto, as áreas rurais com pastagens e criações de gado de corte e de leite compõem a maior parte da paisagem. Em relação à jusante nota-se um aumento na porção de terras ocupadas por reflorestamentos e uma conseqüente diminuição das áreas agrícolas. Também é perceptível um aumento do número de áreas protegidas, conseqüência do maior número de nascentes localizadas nesta parte.

A Figura 1, abaixo, mostra a localização da área tendo como referência o município de Lages.

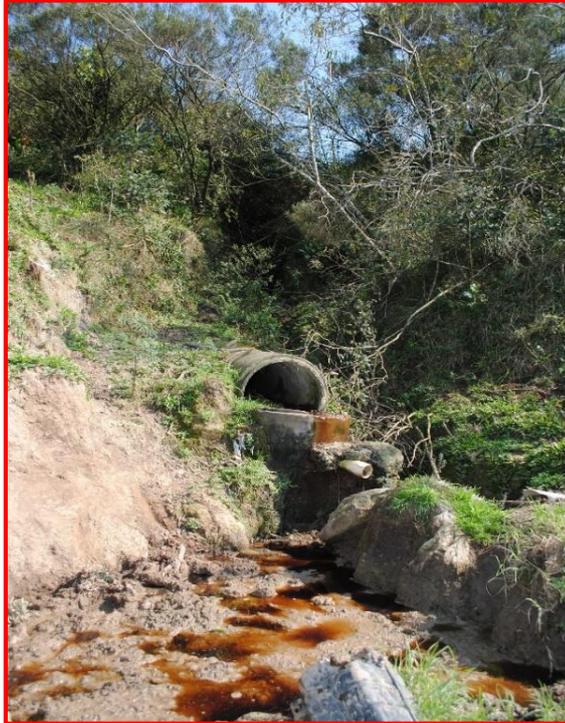
Figura 1 - Localização do Lixão desativado do município de Lages-SC.



Fonte: MORAES (2014).

Como pode-se observar na Figura 2, o chorume oriundo da massa de lixo escorre a céu aberto, contaminando a rede de drenagem, infiltrando no perfil do solo, contaminando o lençol freático. Além disso, parte do lixo está sendo transportado para os cursos da água (Figura 3).

Figura 2 - Escorrimento de chorume a céu aberto.



Fonte: Elaboração do autor.

Com relação ao contexto geológico, a área de estudos insere-se nos domínios da unidade geotectônica Bacia do Paraná, constituída por sedimentos gondwânicos paleomesozoicos (arenitos), capeados por rochas vulcânicas mesozoicas/juro-cretáceas (ROLDAN et al. 2010).

O relevo caracteriza-se por modelados de dissecação homogênea, representado por “coxilhões”, com encostas íngremes e vales relativamente profundos, favorecendo a atuação do escoamento superficial e dos processos erosivos.

Figura 3 - Lixo em curso d'água oriundo do lixão.



Fonte: Elaboração do autor.

3.2 COLETAS E ANÁLISE DE AMOSTRAS DE SOLOS

As coletas das amostras de solos foram realizadas no mês de agosto de 2014. Os pontos de coleta tiveram suas localizações previamente definidas por meio de análise de aerofotografias do *software* Google Earth (GOOGLE INCORPORATED, 2014). Decidiu-se por amostrar solos das regiões onde os resíduos costumavam ser depositados, principalmente da entrada do local.

As localizações exatas dos pontos foram estipuladas conforme o progresso do deslocamento do grupo no local e na dificuldade de acesso a estes. O Anexo A mostra o local dos pontos coletados e a sua disposição pela área. Em seguida, o ponto tinha suas coordenadas baseadas na Projeção Universal Transversa de Mercator – UTM marcadas com o auxílio de um aparelho GPS da marca Garmin, modelo eTrex C Vista por um dos integrantes da equipe e anotadas logo depois, por outro integrante.

Com o auxílio de um trado holandês ou picareta (Figura 4) retirou-se uma amostra de solo na profundidade de 30 cm por ponto. Este valor foi escolhido devido ao fato de que o mesmo representa a altura média da cobertura de solo disposta sobre as células de resíduos logo após a desativação da área. Coletou-se um total de 20 amostras, com aproximadamente 1 Kg cada.

Após a retirada das amostras as mesmas foram acondicionadas em saco plástico transparente (Figuras 5 e 6), e posteriormente identificadas com etiqueta adesiva contendo o nome do ponto e suas coordenadas geográficas.

Figura 4 – Extração de amostra de solo com o auxílio de trado holandês.



Fonte: Elaboração do autor.

Figura 5 - Embalagem da amostra de solos em saco plástico.



Fonte: Elaboração do autor.

Figura 6 – Amostra de solo depois de etiquetada e identificada.



Fonte: Elaboração do autor.

As amostras foram preparadas em laboratório (Figura 7) para serem secas em estufa. Os sacos plásticos contendo as amostras foram abertos e tiveram seu conteúdo despejado em bandejas de papelão com superfície recoberta por papel alumínio. O espalhamento dos solos sobre as bandejas foi efetuado de tal forma que fosse possível uma secagem uniforme, já que as amostras estavam úmidas.

Figura 7 – Amostra de solo em bandeja.



Fonte: Elaboração do autor.

Figura 8 – Identificação das amostras para a secagem.



Fonte: Elaboração do autor.

Todas as amostras foram identificadas nas bandejas (Figura 9), cujas etiquetas foram fixadas em uma das bordas destas, a fim de facilitar a identificação das amostras que posteriormente foram enviadas para o laboratório. Para a realização deste processo, as amostras foram colocadas em estufa e submetidas a uma temperatura de 60°C por um período de oito horas diárias.

As análises foram realizadas com a utilização da metodologia da Absorção Atômica.

Figura 9 – Preparação das amostras para secagem.



Fonte: Elaboração do autor.

3.3 AQUISIÇÃO DE DADOS GAMAESPECTROMÉTRICOS NAS CÉLULAS COMPOSTAS POR LIXO

3.3.1 Testes de equipamentos

O equipamento responsável pela medição de radioatividade foi o Gamaespectrômetro PGIS-2, da fabricante Pico Envirotec, que teve seu funcionamento testado pela primeira vez, já que o equipamento nunca havia sido utilizado até então. Além do gamaespectrômetro propriamente dito, os *softwares* desenvolvidos e fornecidos pelo fabricante e o telefone celular (dentro do qual estão instalados outros *softwares*, responsáveis pelo controle das medições e pelo caminhar realizado pelo operador) também tiveram que ser testados.

Primeiramente, o processo de ligar o equipamento e conectá-lo ao telefone celular (da marca Samsung, modelo Galaxy S GT-I9000) via *bluetooth* foi iniciado (Figura 10). O aparelho foi ligado com sucesso; logo após, o modo *bluetooth* do telefone foi configurado de modo a não desligar automaticamente e, finalmente, acionado. O pareamento com o gamaespectrômetro foi realizado com êxito. Testou-se o *software* PEICore (PICO ENVIROTEC INCORPORATED, 2013), instalado no telefone; o aplicativo foi iniciado e após alguns segundos de espera, seu menu inicial foi aberto.

Figura 10 – Tela inicial do aplicativo PEICore.



Fonte: Elaboração do autor.

3.3.2 Preparação para a aquisição de dados

Antes da aquisição dos dados, um mapa georreferenciado do lixão com base em uma imagem do *software* Google Earth (GOOGLE INCORPORATED, 2014) deveria ser elaborado e transferido para o telefone, uma vez que o aplicativo PEICore (PICO ENVIROTEC INCORPORATED, 2013) guia o usuário com base neste mapa. Entretanto, decidiu-se construir um mapa teste preliminar da área do Centro de Ciências Agroveterinárias da UDESC (Figura 11) para testar a acurácia do sistema GPS do telefone celular.

Para tal, o Google Earth (GOOGLE INCORPORATED, 2014) foi iniciado e uma busca pela área desejada foi realizada. Depois de localizada a área, sete pontos com marcadores de coordenadas foram inseridos na imagem; quatro nos vértices, um no centro e outros dois paralelamente, para que o *software* PEIConvert (PICO ENVIROTEC INCORPORATED, 2011) pudesse posteriormente georreferenciar a imagem corretamente. As coordenadas geográficas de cada marcador foram salvas em um arquivo de texto e a imagem foi salva no formato *bitmap* (bmp) de 256 cores para que o processo de elaboração do mapa pudesse prosseguir.

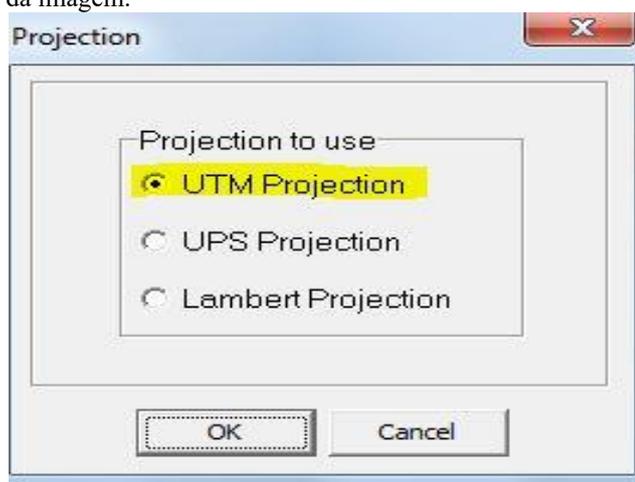
Figura 11 – Imagem Google Earth do Centro de Ciências Agroveterinárias da UDESC.



Fonte: Elaboração do autor.

Para a continuação do processo, o *software* PEIConvert (PICO ENVIROTEC INCORPORATED, 2011) foi inicializado. A imagem gerada anteriormente foi aberta e a opção de georreferenciamento na Projeção Universal Transversa de Mercator foi selecionada (Figura 12).

Figura 12– Escolha da Projeção para georreferenciamento da imagem.



Fonte: Elaboração do autor.

Na sequência foi efetuado a configuração com dados relativos ao tipo de elipsoide utilizado, aos valores aproximados de latitude e longitude em graus da região, e à Zona UTM correspondente no menu *View* e depois em *Show Table* (Figura 13).

Figura 13 – Dados de localização para georreferenciamento de imagens.

Fonte: Elaboração do autor.

Após o preenchimento destes dados, deu-se um clique duplo no centro de cada marcador contido na imagem, em ordem numérica. Com isso, as coordenadas de cada um, referentes ao plano cartesiano do programa, foram automaticamente inseridas em uma tabela fornecida pelo próprio *software*. As coordenadas geográficas salvas no arquivo de texto previamente mencionado foram copiadas e adicionadas à mesma tabela (Figura 14).

Figura 14 – Valores de coordenadas geográficas dos marcadores de imagem.

#	X	Y	Longitude	Latitude	Easting	Northing	N/S	E/W
1	680	67	50,30135779	27,78673581	568828	6926226	S	W
2	825	582	50,29942115	27,79274714	569015	6925559	S	W
3	301	670	50,30624665	27,79369333	568342	6925458	S	W
4	203	139	50,30749279	27,78766941	568223	6926126	S	W
5	506	355	50,30362001	27,7901234	568603	6925852	S	W

Fonte: Elaboração do autor.

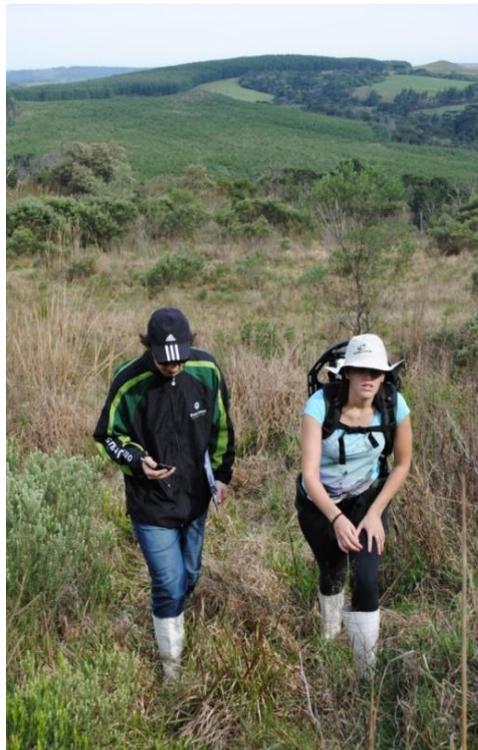
Ato contínuo, clicou-se na opção *Recalculate Coordinates* e a imagem teve suas coordenadas geográficas inseridas no plano cartesiano do programa. Assim, a imagem foi georreferenciada. Salvou-se a imagem e esta foi transferida para o telefone celular. Posteriormente os mesmos procedimentos foram seguidos para gerar a imagem georreferenciada da área do lixão.

3.3.3 Aquisição dos dados

As coletas foram realizadas no mês de setembro de 2014. Os locais de medição foram previamente definidos. Optou-se por uma metodologia de coleta que se constituía em percorrer o local seguindo caminhos retilíneos e perpendiculares uns aos outros, de forma com que fosse criada uma malha de pontos amostrados. Carregou-se a imagem pelo aplicativo e o gamaespectrômetro foi ajustado para realizar medições a cada cinco segundos.

Um dos componentes do grupo determinava o caminho a ser percorrido, enquanto que os demais comandavam o aparelho por meio do *software* instalado no telefone celular e outro operava o aparelho. A medição foi dividida em duas partes para que a sobreposição de dados não fosse tão exagerada, já que estes seriam coletados em diferentes células do lixão.

Figura 15 – Aquisição de dados com o gamaespectrômetro Pico Environtec PGIS-2.



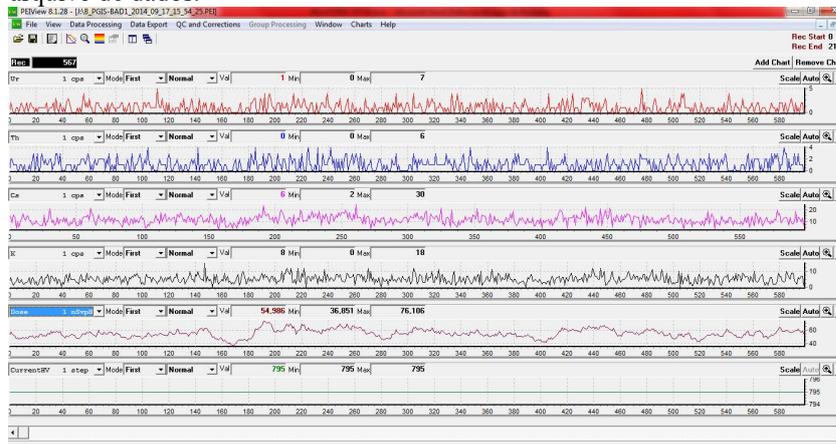
Fonte: Elaboração do autor.

3.3.4 Análises

Os arquivos com os dados gravados pelo equipamento foram descarregados para um computador. Após a transferência, o *software* PEIView (PICO ENVIROTEC INCORPORATED, 2011) foi inicializado para a leitura. O programa inicialmente mostrou na tela do computador (Figura 16) os resultados dispostos em seis gráficos distintos; no eixo vertical eram representados os valores obtidos, e no horizontal o número da gravação de dados.

Para simplificar a análise dos dados decidiu-se extrair os valores para uma planilha do Microsoft Excel (MICROSOFT CORPORATION, 2010). Clicou-se duas vezes sobre um dos gráficos apresentados e os dados passaram a ser dispostos em forma de tabela (Figura 17).

Figura 16 – Interface do programa PEIView após o carregamento de um arquivo de dados.



Fonte: Elaboração do autor.

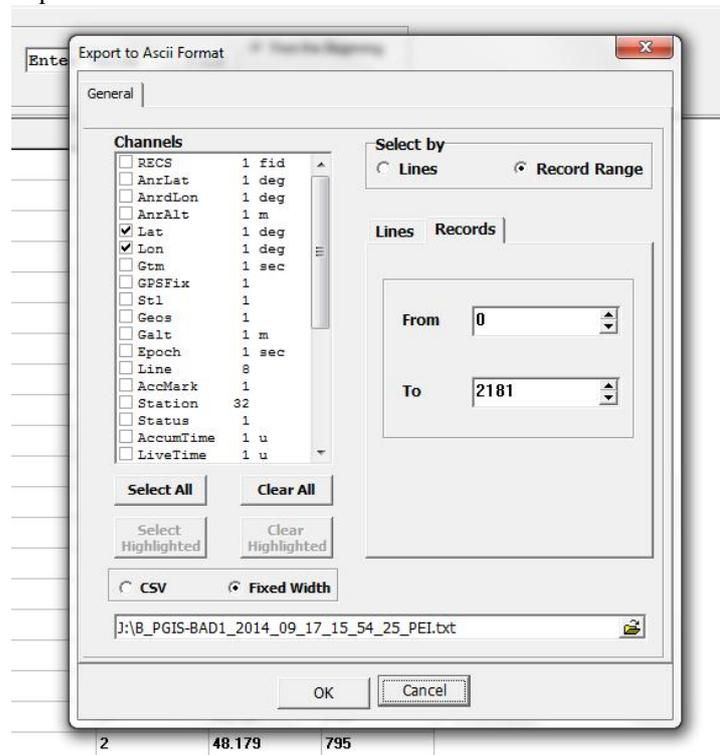
Figura 17 – Dados exibidos em formato de tabela pelo programa PEIView.

RECS	Ur	Th	Cs	K	Dose	CurrentHV
0	0	0	16	3	51.346	795
1	2	2	14	6	57.316	795
2	1	2	9	3	54.558	795
3	0	1	16	1	52.101	795
4	0	1	14	3	50.392	795
5	1	1	4	4	47.329	795
6	1	0	10	6	49.111	795
7	0	0	5	3	46.361	795
8	1	1	9	3	46.706	795
9	2	1	12	5	47.558	795
10	1	0	17	2	48.399	795
11	0	1	12	2	47.030	795
12	1	0	11	3	48.835	795
13	2	0	15	3	48.165	795
14	0	0	15	4	48.096	795
15	1	1	11	6	50.366	795
16	2	0	11	2	49.343	795
17	1	2	7	6	51.511	795
18	1	3	9	5	49.187	795
19	0	0	8	2	48.179	795
20	1	1	11	4	50.921	795

Fonte: Elaboração do autor.

O *software* não permite que a tabela por ele fornecida seja copiada integralmente para outro programa; apenas um valor por vez. Entretanto, ainda foi possível transferir os valores de uma maneira mais rápida; criando um arquivo no formato *.txt* e a partir desse arquivo, copiar os valores ao Microsoft Excel (MICROSOFT CORPORATION, 2010). Isto foi feito ao, primeiramente, clicar na opção *Data Processing* na barra superior e selecionando a opção *ASCII Format* (Figura 18). Feito isso, o menu de configurações para exportação expresso pela figura a seguir apareceu na tela:

Figura 18 – Quadro de seleção de configurações para exportação de arquivos.



Fonte: Elaboração do autor.

Os parâmetros desejados já estavam selecionados no quadro *Channels*, conforme mostrado acima na Figura 18. Também foram selecionadas as opções *Fixed Width* (que deixa as colunas de dados uniformemente espaçadas) e *Records* (que seleciona os dados por gravação). Finalmente, os arquivos foram salvos, podendo ter seu conteúdo copiado, transferido e editado (Figura 19).

Figura 19 – Arquivo em formato .txt para transferência.

Lat_deg	Lon_deg	K_cps	ur_cps	Th_cps	Cs_cps	Dose_nSvph
-27.771114	-50.254585	3	0	0	16	51.346
-27.771114	-50.254585	6	2	2	14	57.316
-27.771114	-50.254585	3	1	2	9	54.558
-27.771114	-50.254585	1	0	1	16	52.101
-27.771114	-50.254585	3	0	1	14	50.392
-27.771114	-50.254585	4	1	1	4	47.329
-27.771114	-50.254585	6	1	0	10	49.111
-27.771114	-50.254585	3	0	0	5	46.361
-27.771114	-50.254585	3	1	1	9	46.706
-27.771114	-50.254585	5	2	1	12	47.558
-27.771114	-50.254585	2	1	0	17	48.399
-27.771114	-50.254585	2	0	1	12	47.030
-27.771114	-50.254585	3	1	0	11	48.835
-27.771114	-50.254585	3	2	0	15	48.165
-27.771114	-50.254585	4	0	0	15	48.096
-27.771114	-50.254585	6	1	1	11	50.366
-27.771114	-50.254585	2	2	0	11	49.343
-27.771114	-50.254585	6	1	2	7	51.511
-27.771114	-50.254585	3	1	3	9	49.187
-27.771114	-50.254585	2	0	0	8	48.179
-27.771114	-50.254585	4	1	1	11	50.921
-27.771114	-50.254585	1	0	2	9	49.879
-27.771114	-50.254585	2	1	0	8	49.797
-27.771114	-50.254585	5	1	3	7	53.031
-27.771116	-50.254589	7	1	3	7	53.562
-27.771118	-50.254600	2	1	2	7	50.500
-27.771120	-50.254608	3	1	1	16	51.474
-27.771126	-50.254619	6	1	2	6	50.343
-27.771133	-50.254627	6	2	1	10	51.247
-27.771139	-50.254631	8	0	1	10	54.811
-27.771145	-50.254635	2	1	2	21	53.538
-27.771152	-50.254635	1	0	1	2	47.596
-27.771158	-50.254642	7	1	0	9	55.692
-27.771164	-50.254650	5	2	1	11	58.152
-27.771171	-50.254654	4	0	1	7	56.539
-27.771181	-50.254654	6	3	3	8	57.283
-27.771192	-50.254661	2	1	3	14	58.374
-27.771204	-50.254665	5	0	1	8	55.853
-27.771213	-50.254669	4	2	3	12	57.693

Fonte: Elaboração do autor.

O conteúdo de ambos os arquivos foi transferido para o Microsoft Excel, resultando em uma planilha digital. Os valores de urânio, tório e potássio expressos em contagens por segundo, (CPS) foram convertidos para a unidade de partes por milhão (ppm); enquanto que os valores de potássio foram convertidos de CPS para porcentagem. Estas transformações foram efetuadas utilizando os fatores de conversão propostos por Ferreira et al. (2005). Os valores de dose foram convertidos de nSv/h para mSv/ano. Após as conversões os valores obtidos para cada elemento foram comparados com os sugeridos por Dickson & Scott (1997), Minty (1997), IAEA (2003) e Bonotto (2004); enquanto que os de dose foram comparados com o recomendado pela *United States Nuclear Regulatory Commission* (USNRC). Posteriormente, foram gerados mapas temáticos de superfície para cada parâmetro com o auxílio do Golden Software Surfer 8.

3.4 COLETAS E ANÁLISE DE AMOSTRAS DE ÁGUA

As coletas foram realizadas em 14 pontos distintos (Figura 20) na rede de drenagem da área de influência do lixão, à jusante, que tiveram suas localizações previamente estabelecidas por meio de análise de fotografias aéreas da área. As localizações exatas dos pontos coletados (baseadas na Projeção Universal Transversa de Mercator – UTM) foram definidas conforme o avanço do grupo, e posteriormente anotadas em uma planilha de campo por uma pessoa e gravadas em um dispositivo GPS da marca Garmin, modelo eTrex Vista C, por outra.

Figura 20 – Localização dos pontos coletados.



Fonte: Elaboração do autor.

Foram utilizados baldes e seringas para as coletas de água. Os recipientes eram molhados três vezes com a água de cada ponto para minimizar a probabilidade de erros nas análises.

Após a retirada dos recipientes dos pontos, três amostras (triplicata) foram colhidas com o uso de uma seringa plástica e acondicionadas em tubos plásticos dotados de tampa rosqueável. Identificavam-se as amostras do ponto anotando-se as coordenadas e outras observações necessárias para caracterizar o local. As amostras foram armazenadas em uma caixa térmica. Em laboratório as amostras foram conservadas em geladeira até que as análises fossem realizadas.

Os parâmetros analisados foram: Cádmio total, chumbo total, cobre dissolvido, ferro dissolvido e prata total, utilizando-se a espectrofotometria de absorção atômica. Decidiu-se por analisar estes elementos em especial devido à sua alta capacidade de poluir corpos hídricos e causar danos à saúde de seres humanos e outras espécies animais.

De posse dos resultados elaborou-se, com auxílio do *software* Microsoft Excel (MICROSOFT INCORPORATED, 2010), uma planilha com os resultados obtidos de cada parâmetro para as reproduções das amostras. Foram gerados os resultados das seguintes estatísticas descritivas: mínimos e máximos dos parâmetros, bem como os de média aritmética, mediana, moda, coeficiente de variação e desvio padrão correspondentes.

Os resultados foram comparados com os valores contidos na Resolução n. 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) para fins de enquadramento dos corpos hídricos em relação aos parâmetros analisados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CONCENTRAÇÕES DE METAIS PESADOS EM SOLOS

Comparando-se os valores da Tabela 1 com os da Tabela 2 (valores de referência), observa-se que existem três categorias de valores tabelados: solos agrícolas, residencial e industrial. Como os resíduos depositados no lixão são oriundos de residências, elegeu-se para efeito de discussão os valores de referência residencial.

Para os cinco metais pesados pesquisados (Tabela 1), observa-se que não houve valores que extrapolassem os valores de referência para classe residencial na Tabela 2.

Salienta-se que o solo analisado foi aquele que recobre as massas de lixo e que a princípio não há nenhuma interferência da decomposição do lixo e conseqüente percolação do chorume no perfil do solo. O solo de cobertura foi analisado, objetivando verificar se havia alguma contaminação por metais pesados e para posterior comparação com o solo que está logo abaixo das massas de lixo.

Como a pesquisa está em andamento, a próxima etapa será analisar amostras de solos que estão logo abaixo das células de lixo.

Tabela 1 – Concentrações em mg/kg de solo seco de metais pesados em amostras de solos.

(continua)

Ponto	Cobre	Prata	Cádmio	Zinco	Chumbo
P1	0,002292	0,000178	0,009872	0,007695	0,000395
P2	0,001815	0,000100	0,015176	0,001933	0,001456
P3	0,003413	0,000138	0,009385	0,004996	0,000778
P4	0,006734	0,000058	0,008471	0,003711	0,001056
P5	0,003369	0,000089	0,025899	0,001150	0,004025
P6	0,004074	0,000134	0,015267	0,001401	0,002210
P7	0,002080	0,000146	0,039055	0,000572	0,000855
P8	0,002360	0,000204	0,017490	0,001470	0,000754
P9	0,004219	0,000107	0,004563	0,006234	0,000448
P10	0,004368	0,000138	0,008855	0,005305	0,000613
P11	0,003641	0,000103	0,020604	0,001056	0,002592
P12	0,004577	0,000118	0,022248	0,001151	0,001854
P13	0,001261	0,000431	0,008269	0,004546	0,000215
P14	0,003018	0,000200	0,008598	0,002858	0,000236
P15	0,006319	0,000107	0,057122	0,001346	0,000475
P16	0,002293	0,000144	0,049517	0,000541	0,005714
P17	0,003157	0,000199	0,013137	0,001788	0,000670

Tabela 1 – Concentrações em mg/kg de solo seco de metais pesados em amostras de solos.

(continua)

P18	0,001913	0,000080	0,005485	0,003651	0,000572
P19	0,002400	0,000142	0,027343	0,001149	0,001142
P20	0,007343	0,000072	0,125724	0,000306	0,002373
Mínimo	0,001261	0,000058	0,004563	0,000306	0,000215
Máximo	0,007343	0,000431	0,125724	0,007695	0,005714
Média	0,003532	0,000144	0,024604	0,002643	0,001422
Mediana	0,003263	0,000136	0,015222	0,001629	0,000816
Desvio Padrão	0,001688	0,000080	0,027861	0,002128	0,001403
CV (%)	47,77	55,095334	113,236471	80,533288	98,654985

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 2 – Valores de metais (mg/kg), conforme a Resolução n. 420/2009 do CONAMA.

Valores de referência	Cobre	Prata	Cádmio	Zinco	Chumbo
Prevenção	60	2	1,3	300	72
Solos Agrícolas	200	25	3	450	180
Residencial	400	50	8	1000	300
Industrial	600	100	20	2000	900

Fonte: CONAMA (2009).

4.2 NÍVEIS DE ELEMENTOS RADIOATIVOS E DOSE DE RADIAÇÃO

Foram obtidos em campo valores de 3352 pontos; sua disposição pela área está indicada no Anexo B. Isto se deve ao intervalo estabelecido entre as medições, que foi de 5 segundos. A Tabela 3 expressa os valores mínimos e máximos obtidos nas medições e os compara com os respectivos valores de referência.

Tabela 3 – Níveis de parâmetros radioativos referentes ao solo do lixão desativado de Lages-SC, comparados aos dados contidos na literatura.

(continua)

Valores	Potássio (%)	Tório (ppm)	Urânio (ppm)	Dose anual de exposição (mSv)
Mínimo obtido	0,000	0,000	0,000	0,323
Máximo obtido	$7,342 \times 10^{-5}$	8,427	0,695	0,785
Mínimo usual	2,000	8,000	2,000	-
Máximo usual	2,500	12,000	3,000	1,000

Tabela 3 – Níveis de parâmetros radioativos referentes ao solo do lixão desativado de Lages-SC, comparados aos dados contidos na literatura.

(continua)

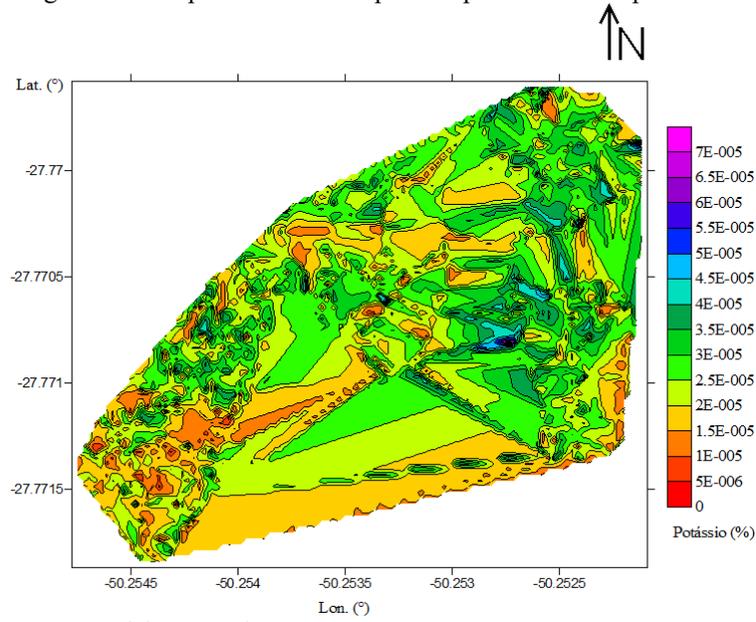
Valores	Potássio (%)	Tório (ppm)	Urânio (ppm)	Dose anual de exposição (mSv)
Média	$2,444 \times 10^{-5}$	0,640	0,116	0,551
Mediana	$2,318 \times 10^{-5}$	0,562	0,099	0,551
Moda	$2,705 \times 10^{-5}$	0,562	0,099	0,529
CV (%)	43,1	96,4	93,4	12,9
Desvio Padrão	$1,05 \times 10^{-5}$	0,617	0,108	0,071

Fonte: Elaboração do autor.

Nota-se que os valores de potássio estão muito abaixo da faixa indicada por Dickson & Scott (1997), Minty (1997), IAEA (2003), Bonotto (2004), sendo que todos os pontos amostrados apresentaram concentrações abaixo de 0,001%. Somente um ponto apresentou um valor de concentração de tório próximo ao mínimo normalmente encontrado, o que levou a concentração média a estar distante do proposto pelos autores. O urânio teve uma concentração média de 0,116 ppm, abaixo dos 2 a 3 ppm comumente encontrados na crosta terrestre, segundo a literatura. As doses de exposição à radiação ionizante permaneceram abaixo do limite máximo (1 mSv/ano) de segurança estabelecido pela USNRC (1991).

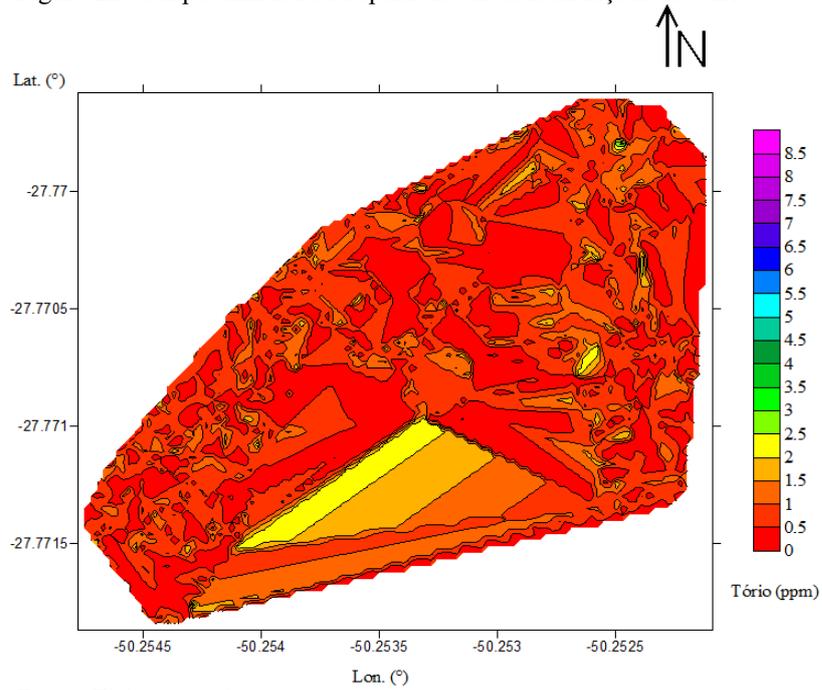
Os mapas temáticos a seguir mostram a distribuição espacial das concentrações de potássio (Figura 21), tório (Figura 22), urânio (Figura 23) e dos valores de dose de exposição anual na área do lixão desativado (Figura 24):

Figura 21 – Mapa temático de superfície para valores de potássio.



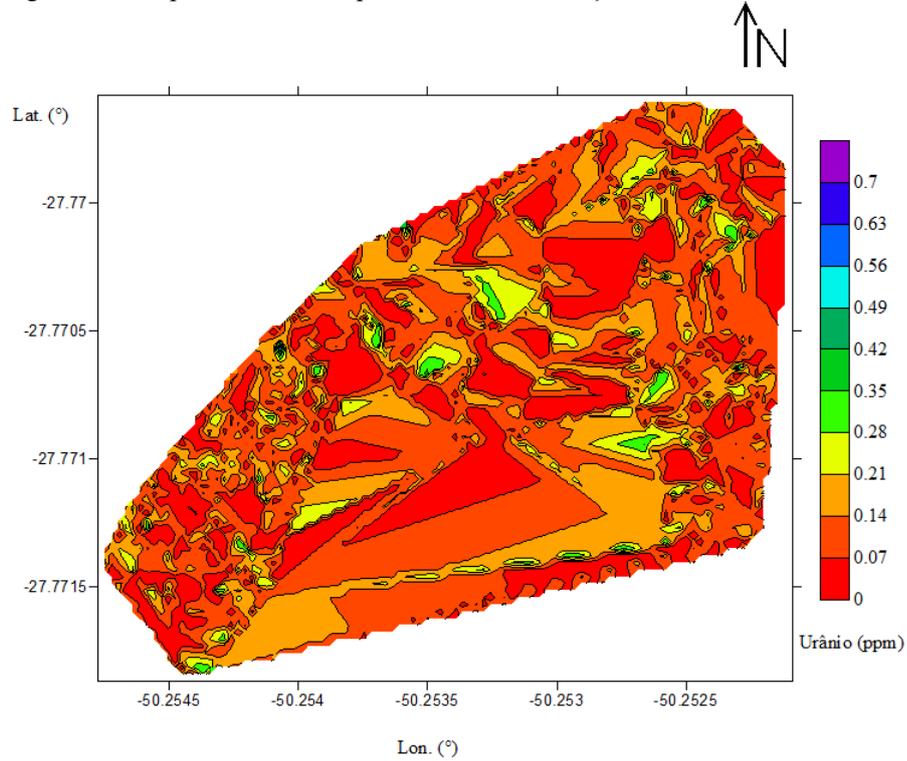
Fonte: Elaboração do autor.

Figura 22 – Mapa temático de superfície das concentrações de tório.



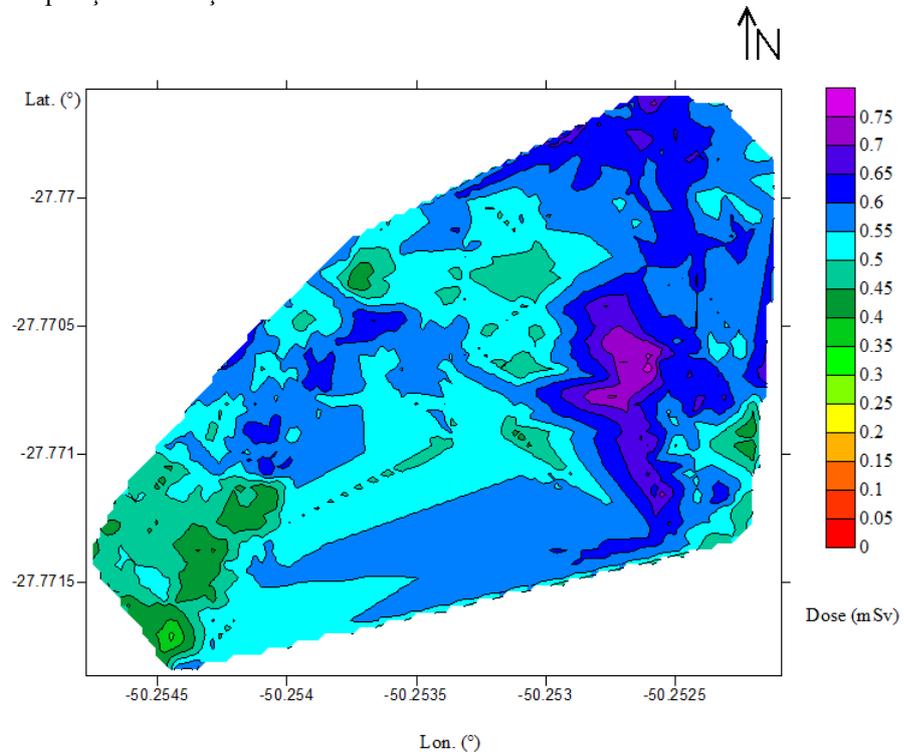
Fonte: Elaboração do autor.

Figura 23 – Mapa temático de superfície das concentrações de urânio.



Fonte: Elaboração do autor.

Figura 24 – Mapa temático de superfície para os valores de dose anual de exposição à radiação ionizante.



Fonte: Elaboração do autor.

4.3 CONCENTRAÇÕES DE METAIS PESADOS EM ÁGUA

Os valores das análises das amostras de água estão expressos a seguir, na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores das concentrações em ($\mu\text{g/L}$) das águas coletadas na rede de drenagem da área de influência do lixão desativado do município de Lages-SC.

(continua)

Ponto	Amostra	Cádmio total	Chumbo total	Cobre dissolvido	Ferro dissolvido	Prata total	Zinco total
P1	1	34,736	532,234	30,349	134,965	149,382	30,071
	2	35,945	543,207	29,234	143,954	150,483	26,627
	3	35,945	494,243	25,934	139,054	155,960	29,457
P2	4	37,036	369,204	30,203	100,368	180,603	35,630
	5	37,904	365,895	30,281	102,945	189,483	36,954
	6	37,043	372,442	32,192	109,943	191,284	34,956
P3	7	24,627	322,544	21,923	703,951	230,485	20,285
	8	25,900	306,970	19,236	712,943	229,045	21,904
	9	23,784	354,075	17,283	729,043	230,586	20,485
P4	10	46,784	494,243	10,382	211,765	123,045	12,904
	11	44,905	494,243	12,490	230,854	130,594	10,743
	12	42,945	547,056	11,236	231,954	125,065	12,945
P5	13	44,420	455,252	13,928	110,426	101,934	31,098
	14	44,933	454,710	14,935	123,905	100,434	31,904
	15	44,738	449,122	13,294	120,954	105,943	30,584
P6	16	30,272	398,823	19,372	202,765	99,034	34,500
	17	31,892	441,065	18,382	210,567	101,295	33,956
	18	30,945	397,969	16,433	206,176	110,485	35,965
P7	19	50,561	422,515	28,901	280,350	158,043	9,354
	20	50,312	463,241	30,293	281,945	155,967	10,045
	21	51,342	439,372	32,845	280,439	155,967	10,385

Tabela 4 - Valores das amostras em ($\mu\text{g/L}$) das águas coletadas na rede de drenagem da área de influência do lixão desativado do município de Lages-SC.

(conclusão)

Ponto	Amostra	Cádmio total	Chumbo total	Cobre dissolvido	Ferro dissolvido	Prata total	Zinco total
P8	22	38,680	622,200	10,374	129,193	173,776	11,322
	23	39,034	613,540	10,485	123,095	168,970	11,904
	24	40,321	620,293	11,290	126,907	170,786	11,945
P9	25	26,550	688,513	15,934	412,895	130,284	7,790
	26	26,903	639,189	17,094	420,954	130,584	8,904
	27	24,903	663,577	16,943	415,906	132,945	9,045
P10	28	45,426	724,655	31,023	350,056	174,144	5,819
	29	43,902	703,242	30,456	546,906	175,943	6,900
	30	44,903	715,511	29,304	345,906	177,854	8,543
P11	31	41,561	779,394	28,934	398,095	98,045	10,114
	32	42,901	767,875	28,021	399,002	99,043	10,954
	33	40,123	783,177	30,182	400,323	100,456	10,435
P12	34	20,345	716,203	28,904	480,906	197,636	9,087
	35	21,092	746,240	29,900	491,945	189,034	10,495
	36	18,902	733,638	29,128	489,865	193,570	10,546
P13	37	14,903	537,805	30,283	4675,965	99,034	385,065
	38	16,903	551,811	32,394	4786,906	98,856	390,023
	39	15,903	544,826	31,342	4731,489	98,957	387,440
P14	40	14,883	659,621	52,435	4956,065	78,954	112,094
	41	12,932	686,713	50,129	4192,458	80,954	110,945
	42	13,911	673,157	51,297	4574,262	79,931	111,523

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 5 – Parâmetros estatísticos relativos aos elementos analisados nas amostras de água.

(continua)

	Cádmio total	Chumbo total	Cobre dissolvido	Ferro dissolvido	Prata total	Zinco total
Média ($\mu\text{g/L}$)	33,618	554,514	25,119	924,247	143,449	51,468

Tabela 5 – Parâmetros estatísticos relativos aos elementos analisados nas amostras de água.

	(conclusão)					
	Cádmio total	Chumbo total	Cobre dissolvido	Ferro dissolvido	Prata total	Zinco total
Mediana (µg/L)	36,491	544,017	28,903	313,926	141,164	16,615
Moda (µg/L)	35,945	494,243	-	-	99,034	-
CV (%)	11,523	140,921	10,642	1552,636	43,388	97,897
Desvio Padrão	0,343	0,254	0,424	1,680	0,302	1,902

Fonte: Elaboração do autor.

Nota: Sinal convencional utilizado:

- Dado não existente

Nota-se que os valores das concentrações de ferro dissolvido e zinco total encontrados nos pontos P13 e P14 destoam consideravelmente em relação aos valores detectados nos demais pontos, o que levou a valores de coeficiente de variação (CV) bastante altos, sendo que para o ferro dissolvido o valor ultrapassou os 1500%. Isto indica que estes locais de coleta podem estar recebendo quantidades superiores de chorume e resíduos, devido a possíveis alterações edáficas na área.

A Tabela 6 mostra os valores máximos de concentração para os parâmetros analisados exigidos pela Resolução n. 357/2005 do CONAMA para o enquadramento de corpos hídricos nas classes 1, 2 e 3 de águas doces:

Tabela 6 - Valores máximos permitidos de concentração por classe de águas doces para os parâmetros analisados segundo a Resolução n. 357/2005 do CONAMA.

Parâmetro	Concentração (µg/L) máxima para as Classes 1 ou 2	Concentração (µg/L) máxima para a Classe 3
Cádmio total	1	10
Chumbo total	10	33
Cobre dissolvido	9	13
Ferro dissolvido	300	5000
Prata total	10	50
Zinco total	180	5000

Fonte: CONAMA (2005).

Da Resolução CONAMA n. 357, art. 15º: Aplicam-se às águas doces de classe 2 as condições e padrões da classe 1 previstos no artigo anterior, à exceção do seguinte:

I - não será permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;

II - coliformes termotolerantes: para uso de recreação de contato primário deverá ser obedecida a Resolução CONAMA n. 274, de 2000. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;

III - cor verdadeira: até 75 mg Pt/L;

IV - turbidez: até 100 UNT;

V - DBO 5 dias a 20°C até 5 mg/L O₂;

VI - OD, em qualquer amostra, não inferior a 5 mg/L O₂;

VII - clorofila *a*: até 30 µg/L;

VIII - densidade de cianobactérias: até 50000 cel/mL ou 5 mm³/L; e,

IX - fósforo total:

a) até 0,030 mg/L, em ambientes lênticos; e,

b) até 0,050 mg/L, em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico.

No que se refere às concentrações de cádmio total percebe-se que todas as amostras apresentaram resultados muito acima do exigido para o enquadramento nas classes 1 ou 2 de águas doces, e que também não se enquadram na classe 3. O mesmo cenário ocorreu com os valores de chumbo e prata. Já em relação ao ferro, observa-se que nos pontos P1, P2, P4, P5, P6 e P7 os valores respeitam os limites das classes 1 ou 2, enquanto que os demais estão dentro do permitido para a classe 3. Para o zinco, nota-se que apenas o ponto P13 possui concentrações acima do ideal para o enquadramento na classe 1.

Futuramente serão conduzidas novas coletas de amostras nos mesmos pontos, com o objetivo de analisar parâmetros como as demandas bioquímica e química de oxigênio, os níveis de oxigênio dissolvido, cor, turbidez, sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica do corpo hídrico estudado.

5 CONCLUSÃO

Em relação às concentrações de metais pesados no solo, os valores obtidos não ultrapassaram os limites balizadores. Isto se deve à baixa profundidade de coleta e ao fato de as massas de resíduos depositados estarem localizadas mais abaixo. Além disso, a alta porosidade do solo local também representou uma influência direta nos resultados obtidos. Graças a ela, espera-se que concentrações maiores sejam encontradas em maiores profundidades. Portanto, amostras deverão ser coletadas a profundidades maiores para que se possa ter conhecimento total da situação dos solos da área em relação a este aspecto.

No que se refere aos níveis de elementos radioativos, dose de exposição à radiação ionizante e aplicação de técnicas gamaespectrométricas, há poucos trabalhos no Brasil que se preocupam em fazer uso deste tipo de abordagem. Na área pesquisada, felizmente, tanto os níveis de urânio, tório e potássio quanto a dose de exposição à radiação ionizante se encontraram dentro dos limites considerados adequados. A variação dos valores também não apresentou nenhuma anormalidade, fazendo com que a possibilidade da ocorrência de uma anomalia relevante de ordem geológica no local seja descartada.

Ao comparar os valores obtidos nas coletas de amostras de água com os valores estabelecidos legalmente para cada parâmetro analisado, percebeu-se a dimensão do problema que a disposição inadequada de resíduos sólidos causa, ainda mais em um longo período de tempo. Os valores obtidos indicam valores médios muito mais elevados em relação aos limites máximos para todos os metais analisados, com exceção ao zinco. Os altos coeficientes de variação, principalmente os relativos ao ferro e ao cobre indicaram que há uma diferença significativa do aporte de chumbo nos pontos de amostragem. Isto pode, também, indicar uma possível diferença dos tipos de resíduos depositados nestes locais. Portanto, recomenda-se evitar ao máximo a ingestão e o contato com as águas que passam pelo lixão desativado.

Entretanto, há alternativas para que o local deixe de representar um risco à saúde da população da sua área de influência direta.

Pôde-se notar também que o uso de tecnologia de ponta se faz cada vez mais necessário para que as investigações sobre a situação de passivos ambientais sejam realizadas de maneira rápida e eficiente, de modo a buscar possíveis soluções para cada cenário. Conclui-se que são necessárias visitas constantes ao local de estudo para que os efeitos e danos causados pela decomposição dos materiais lá depositados sejam analisados de maneira correta.

6 MEDIDAS PASSÍVEIS DE ADOÇÃO NO LOCAL DE ESTUDO

Tendo em vista a gravidade da situação da área do lixão desativado, deve-se adotar uma série de medidas que venham a mitigar ou minimizar os impactos causados pelas atividades que lá costumavam ser desenvolvidas.

Uma alternativa relativamente simples, visando dificultar a entrada de animais constatada em boa parte das visitas realizadas na referida área, seria a substituição do cercamento atualmente existente confeccionado em arame farpado por cercas do tipo industrial, mais eficientes.

Visando impedir o avanço de processos erosivos, como ravinamentos como constatado, sugere-se a construção de barreiras de contenção onde estes são notados. Para isto podem ser utilizadas técnicas convencionais ou de bioengenharia, além do plantio de gramíneas, que impedem a erosão superficial do solo. O uso de muros de solo reforçado é uma alternativa que vem ganhando cada vez mais espaço. De acordo com Pinto (2009), este tipo de estrutura se caracteriza por ser uma estrutura de contenção com a adição de elementos de reforço no interior da massa de solo adjacente, tornando o local mais resistente aos movimentos horizontais e mais agradável esteticamente. Ainda segundo a autora, estas construções também possuem alta viabilidade econômica e são de rápida conclusão.

Dentre as obras de bioengenharia, pode-se levar em consideração a construção de paredes Krainer, que são constituídas, segundo Durlo & Sutili (2005 apud PINTO, 2009), na cravação de estacas de madeira em um talude intercaladas por troncos no sentido longitudinal do talude e feixes vivos, como raízes, que têm o papel de proteger fisicamente a estrutura.

Também é necessária a reconstrução do sistema de captação e drenagem de chorume no local, tendo em vista a destruição das tubulações em alguns pontos. O metano gerado pela decomposição dos resíduos é outro fator de importância considerável. Em um estudo conduzido na área por Moraes (2014), notou-se que as concentrações subterrâneas deste gás ainda se encontram bastante elevadas. Boa parte dos pontos amostrados teve concentrações que ultrapassaram o limite inferior de explosividade, fixado em 5%. Isto evidencia que o risco de explosão ainda se encontra elevado. Além de medir as concentrações de metano periodicamente, visando avaliar a alteração do risco de explosão deste, é necessário que sejam construídos drenos para captação e instalados queimadores, para a queima controlada do gás.

Para que o chorume seja armazenado de maneira segura, as lagoas de captação deverão ter sua capacidade aumentada e ter seu revestimento substituído por materiais mais atuais e eficientes, como mantas de polietileno de alta densidade.

No entanto, a destinação final deste chorume também deve ser levada em consideração. Para isto, uma estação completa de tratamento deverá ser construída nas imediações ou no próprio local, para que não seja necessário o transporte do chorume bruto a uma estação localizada em algum ponto distante da área.

Deve-se também monitorar constantemente a presença de vetores de doenças ligadas à deposição de resíduos a céu aberto, como microinvertebrados e insetos.

Por fim, recomendo que a coordenação do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da UNISUL faça uma denúncia juntamente ao Ministério Público Federal, para que o órgão possa ter conhecimento da situação do lixão desativado e propor um Termo de Ajustamento de Conduta juntamente à Prefeitura Municipal de Lages, para que medidas como as aqui propostas sejam discutidas e posteriormente adotadas, de modo a tornar o local menos agressivo ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENDA 21. **Aterro sanitário e lixão: qual a diferença?** Disponível em:
<<http://www.agenda21comperj.com.br/noticias/aterro-sanitario-e-lixao-qual-diferenca>>
Acesso em: 26 de outubro 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8.419:**
Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro,
ABNT, 1992.

Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE).
Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. Edição especial 10 anos. 2012.

BADERNA, D.; MAGGIONI, S.; BORIANI, E.; GEMMA, S.; MOLTENI, M.; LOMBARDO, A.; COLOMBO, A.; BORDONALI, S.; ROTELLA, G.; LODI, M. BENFENATI, E. **A combined approach to investigate the toxicity of industrial landfill's leachate: chemical analyses risk assessment and in vitro assays.** Environmental Research, n. 111, p. 603 – 613, 2011.

BAIRD, C. **Química Ambiental.** 2. ed. Porto Alegre, RS: Bookam, 2002. 622 p.

BECEGATO, V.A. **Aplicação de técnicas geofísicas e geoquímicas em duas glebas agrícolas do noroeste do Paraná e suas relações com fertilizantes fosfatados.** Curitiba, 2005. Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, 2005.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES).
TEMA: Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Produto 7: Relatório final sobre as principais rotas tecnológicas de destinação de resíduos sólidos urbanos no exterior e no Brasil. **Pesquisa Científica.** 2010.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo, SP: Prendice - Hall, 305 p. 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº. 357**: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº. 420**: Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2009.

DICKSON, B.L., FRASER, S.J.; KINSEY-HENDERSON A. **Interpreting aerial gamma-ray surveys utilising geomorphological and weathering models**. Elsevier, Journal of Geochemical Exploration, v. 57, p. 75–88, 1996.

DICKSON B.L.; SCOTT K.M. **Interpretation of aerial gamma-ray surveys - adding the geochemical factors**. AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, v. 17, p. 187–200, 1997.

DI IACONI, C.; ROSSETI, S.; LOPEZ, A.; RIED, A. **Effective treatment of stabilized municipal landfill leachates**. Chemical Engineering Journal, v. 168, p. 1085 – 1092. 2011.

DURLO, M.A.; SUTILI, F.J. **Bioengenharia: manejo biotécnico de cursos d'água**. Porto Alegre: EST, 2005.

ECHEVARRIA, G.; SHEPPARD, M.I.; MOREL, J.L. **Effect of pH on the sorption of uranium in soils**. Journal of Environmental Radioactivity, v. 53 n. 2, p.257-264, 2001.

GOLDEN SOFTWARE, Inc. **Surfer**. Version 8.00. 2002.

GOOGLE INCORPORATED. **Google Earth**. Version 7.1.5.1557. 2014.

HANSEN, D. A. **Geological applications**. Manual for Portable Gamma-ray Spectrometers. Toronto, Exploranium G.S. Limited, 87 p., 1975.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). **Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data**. Vienna: IAEATECDOC-1363, 173 p., 2003.

KJELDSSEN, P; BARLAZ, S.S.; ROOKER, A.P.; BAUN, A.; LEDIN, A.; CHRISTENSEN, T. **Present and long term composition of MSW landfill leachate: a review**. Critical Review of Environmental Science and Technology, v. 32, p. 297 – 336, 2002.

LIMA, L.M.Q. **Lixo – Tratamento e Biorremediação**. Editora Hemus, 3. ed., 265 p. 2004.

MARTINHO, E.; ALMEIDA, F. **3D behaviour of contamination in landfill sites using 2D resistivity/IP imaging: case studies in Portugal**. Environ. Geol. v. 49, p.1071–1078, 2006.

MICROSOFT Corporation. **Microsoft Office Excel**. Version 14. 2010.

MINTY, B.R.S. **A review of airborne gamma-ray spectrometric data processing techniques**. Australian Government Publishing Service, 48 p. 1988.

MINTY, B.R.S. **Fundamentals of airborne gamma-ray spectrometry**. AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, v. 17, n. 2, p. 39-50, 1997.

MONDELLI, G.; GIACHETI, H.L.; BOSCOV, M.; ELIS, V.R.; HAMADA, J. **Geoenvironmental site investigation using different techniques in a municipal solid waste disposal site in Brazil**. Environ. Geol. v. 52, p. 871–887, 2007.

MORAES, C.L. **Caracterização do passivo ambiental lixão desativado do município de Lages-SC**. Lages, 2014. 160 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2014.

NAVAS, A.; SOTO, J.; MACHIN, J. **^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th and ^{40}K activities in soil profiles of the Flysch sector (Central Spanish Pyrenees).** Applied Radiation and Isotopes, v. 57, (4) p.579-589, 2002.

PICO ENVIROTEC Inc. **PEIConvert Program.** Version 5.4.25. 2011.

PICO ENVIROTEC Inc. **PEICore.** Version 5.1.0. 2013.

PICO ENVIROTEC Inc. **PEIView.** Version 8.1.28. 2011.

PINTO, G.M. **Bioengenharia de solos na construção de taludes:** comparação com uma solução tradicional. Porto Alegre, 2009. 78 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

PORSANI, J.L.; FILHO, W.M.; ELIS, V.R.; FISSEHA, S. F.; DOURADO, J.C; MOURA, H.P. **The use of GPR and VES in delineating a contamination plume in a landfill site:** a case study in SE Brazil. Journal of Applied Geophysics, v. 55, p. 199–209, 2004.

RENOU, S.; GIVAUDAN, J.G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F.; MOULIN, P. **Landfill leachate treatment:** review and opportunity. Journal of Hazardous Materials, v.150, p. 468 – 493, 2008.

ROLDAN, L.F.; MACHADO, R.; SEINER, S.S.; WARREN, L.V. **Análise de Lineamentos Estruturais no Domo de Lages (SC) com uso de Imagens de Satélite e Mapas de Relevo Sombreado.** Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 10, n. 2, p. 57-72, 2010.

SAN MIGUEL, E.G.; PÉREZ-MORENO, J.P.; BOLÍVAR, J.P.; GARCÍA-TENÓRIO, R. **Validation of isotope in sediments affected by anthropogenic inputs from uranium series radionuclides.** Environmental Pollution, v. 123, p.125-130, 2003.

THIESSEN, K.M.; THORNE, M.C.; MAUL, P.R.; PRÖHL, G.; WHEATER, H.S. **Modelling radionuclide distribution and transport in the environment.** Elsevier, Environmental Pollution, v. 100, p. 151–177, 1999.

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION (USNRC). **Standards for protection against radiation.** Disponível em: < <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part020/full-text.html#part020-1301>> Acesso em: 16 out. 2015.

WILFORD, J.R.; BIERWIRTH, P.N.; CRAIG, M.A. **Application of gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and geomorphology.** AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, v. 17, p. 201–216, 1997.

ANEXO A – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM DE SOLOS



**ANEXO B – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE ANÁLISE DE ELEMENTOS
RADIOATIVOS E DOSE DE EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO IONIZANTE**

