

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL EM MUNICÍPIOS**

IURI RIBEIRO


**CARACTERIZAÇÃO MULTIELEMENTAR DE LIXIVIADO E TESTES  
DE ADAPTAÇÃO DE PLANTAS NO PÓS-TRATAMENTO POR  
BANHADOS CONSTRUIDOS**

ARTIGO

MEDIANEIRA

2018

IURI RIBEIRO



**CARACTERIZAÇÃO MULTIELEMENTAR DE LIXIVIADO E TESTES  
DE ADAPTAÇÃO DE PLANTAS NO PÓS-TRATAMENTO POR  
BANHADOS CONSTRUIDOS**

Artigo apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Especialista na Pós Graduação em Gestão Ambiental em Municípios – Polo UAB do Município de Foz Do Iguaçu, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Medianeira.

MEDIANEIRA

2018



## TERMO DE APROVAÇÃO

### CARACTERIZAÇÃO MULTIELEMENTAR DE LIXIVIADO E TESTES DE ADAPTAÇÃO DE PLANTAS NO PÓS-TRATAMENTO POR BANHADOS CONSTRUIDOS

Por

**IURI RIBEIRO**

Este Artigo foi apresentado às 09h30 do dia 03 de agosto de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista no Curso de Especialização em Gestão Ambiental em Municípios – Polo de Foz Do Iguaçu, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Fabio Orssatto  
UTFPR – Câmpus Medianeira  
(orientador)

---

Prof<sup>a</sup> Dra. Carla Cristina Bem  
UTFPR – Câmpus Medianeira

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Eliane Rodrigues dos Santos Gomes  
UTFPR – Câmpus Medianeira

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso-

## RESUMO

Os objetivos do trabalho foram avaliar as características elementares do lixiviado tratado do antigo aterro municipal de Cascavel, PR; selecionar diferentes tipos de plantas que sejam adequadas para o pós-tratamento deste lixiviado; realizar levantamento bibliográfico sobre o assunto. O levantamento bibliográfico foi realizado pela busca em diversas bases de dados abrangendo artigos publicados entre 1996 e 2018. O lixiviado foi analisado segundo a técnica de TXRF e preparado usando o método do padrão interno. Os testes de adaptação foram realizados em banhados construídos em escala piloto de fluxo subsuperficial misto, utilizando as espécies de plantas *Colocasia gigantea*, *Dieffenbachia seguine*, *Anthurium* e *Agave attenuata*. As mudas foram banhadas por água por 20 dias e, em seguida, pelo lixiviado por 30 dias. O levantamento bibliográfico permitiu definir conceitos básicos, e possibilitou a investigação dos últimos assuntos abordados sobre o tema. Foram quantificados Ca, Ti, V, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr, Zn, Cd e Pb. Altas concentrações de Ca ( $22,6 \pm 4 \%$ ), Fe ( $5,6 \pm 8 \%$ ), Cd ( $52,4 \pm 5 \%$ ) e Pb ( $3,5 \pm 9 \%$ ) foram reportadas, das quais as de Cd e Pb se mostraram acima dos padrões para o despejo de efluentes em corpos hídricos. Os testes de adaptação demonstraram que todas as espécies escolhidas podem ser utilizadas para a concepção das wetlands para o pós-tratamento do lixiviado em questão. Em suma não deve ser permitido o despejo do lixiviado nos corpos hídricos sem o pós-tratamento adequado, que pode ser realizado com o uso das espécies de plantas avaliadas.

**Palavras-chave:** Banhados construídos; Aterros sanitários; Lixiviados; Testes de adaptação; Pós-tratamentos.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	1
2.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	3
2.1	PRIMEIRA ETAPA: LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO .....	3
2.2	SEGUNDA ETAPA: PESQUISA EXPERIMENTAL .....	4
	Amostragem e conservação de matrizes líquidas.....	4
	Preparo das amostras.....	5
	Coleta e análise de dados.....	5
	Unidade experimental e testes de adaptação .....	6
3.	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	6
3.1	PROBLEMÁTICA AMBIENTAL E OS RESÍDUOS SÓLIDOS .....	6
	Lixiviados de aterros sanitários.....	8
	Área de estudo e o Aterro sanitário municipal de Cascavel, PR.....	10
3.2	BANHADOS CONSTRUÍDOS .....	10
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	13
4.1	CARACTERIZAÇÃO ELEMENTAR MÉDIA DO LIXIVIADO DO ATERRO SANITÁRIO DE CASCAVEL - PR.....	13
4.2	TESTES DE ADAPTAÇÃO .....	14
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	16

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento econômico aliado ao crescimento exponencial da população tem causado inúmeros problemas ambientais, e um deles é a grande geração de resíduos sólidos (ABRELPE, 2014). Em 2010 foi criada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, Lei 12.305, 2010) determinando o uso de aterros sanitários como forma de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, visando à atenuação dos impactos ambientais e dos riscos de contaminação, associados aos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem nos locais de disposição, devido à presença deste material. Os aterros sanitários possuem padrões aceitáveis quanto aos danos à saúde pública e ao meio ambiente utilizando princípios e técnicas de engenharia, além disso, os aterros sanitários devem ser monitorados em todas as fases do projeto, implantação e operação, bem como após o encerramento da vida útil (CEMA, 2014). Os aterros sanitários possuem grande influência nas áreas de seu entorno devido, principalmente, ao grande potencial poluidor dos resíduos ali dispostos (BECK *et al.*, 2010) e a alta geração de efluentes líquidos. Dentre os diversos aspectos ambientais existentes nos aterros sanitários os efluentes líquidos, gerados pela decomposição dos resíduos nos locais de disposição, são aqueles que possuem maior necessidade de gerenciamento. Os efluentes de aterros sanitários são comumente conhecidos por chorume e possuem características tóxicas, grandes concentrações de materiais poluidores e elementos contaminantes. De modo a agravar os problemas ambientais os efluentes podem ainda escoar superficialmente ou infiltrar-se no solo, atingindo os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, poluindo, em ambos os casos, diretamente o meio. O seu tratamento é, portanto, uma medida obrigatória e que visa a proteção ambiental (CAMPOS & PIVELI, 2016; SERAFIM *et al.*, 2003).

Os sistemas de tratamento dos efluentes de aterros sanitários, usualmente chamados de lixiviados, são compostos, geralmente, de processos biológicos e/ou físico-químicos que têm como principais objetivos a redução de compostos orgânicos, DBO, DQO, e do nitrogênio (CONAMA Nº 357, 2005; CONAMA Nº 430, 2011). Apesar disso, ao passar pelos sistemas de tratamento convencionais, o lixiviado é, geralmente, recirculado, pois, apesar das diversas etapas, dificilmente os padrões de lançamento descritos nas normas regulamentadoras são alcançados. De encontro a este fato o uso das zonas de raízes (*constructed wetlands*) tem sido investigado, pois

visa dar um polimento final no efluente, melhorando suas características e diminuindo os riscos ambientais e a necessidade da recirculação.

As zonas de raízes, também conhecidas por banhados construídos, podem ser entendidos como ecossistemas artificiais construídos com o objetivo de recriar/simular as áreas úmidas naturais, onde existem diversos processos físico-químicos que acabam por consumir, reter ou transformar, os diversos poluentes presentes nos efluentes, maximizando, porém, a remoção dos poluentes pelas plantas. São, portanto, ambientes favoráveis à estabilização dos lixiviados, permitindo que se atinjam os níveis necessários para seu posterior despejo, seja em corpos d'água ou até mesmo em sumidouros sobre o solo. Os banhados construídos são capazes de remover altos percentuais de matéria orgânica biodegradável, nutrientes, metais pesados, e outros poluentes. Além destes fatores as zonas de raízes possuem baixo custo de instalação, operação e manutenção, pois são áreas alagadas que necessitam apenas de um substrato poroso para a sustentação das plantas, como pedras britas ou outros materiais.

Alguns estudos têm proposto o uso de banhados construídos para o tratamento de diversos tipos de efluentes chegando a ótimos resultados de remoção de poluentes, como por exemplo: pós-tratamento de esgotos domésticos (WU *et al.*, 2015; BUI *et al.*, 2018); efluentes de poços de exploração petróleo (REHMAN *et al.*, 2018). Entre os diferentes usos as *wetlands* têm sido apontadas também como sistemas capazes de atender a necessidade do polimento final aos efluentes gerados nos aterros sanitários, possibilitando seu despejo sem que haja problemas ambientais e contaminação nos corpos hídricos receptores ou até mesmo para irrigação agrícola e disposição direta sob o solo (BAKHSHOODEH *et al.*, 2017; DAN *et al.*, 2017; MOHAMMED & BABATUNDE, 2017; MOJIRI *et al.*, 2016; OGATA *et al.*, 2015; RIBEIRO & PETERLE, 2017; WOJCIECHOWSKA, 2017; YI *et al.*, 2017; YIN *et al.*, 2017).

Em suma a pesquisa de formas mais ecológicas e eficientes para a concepção de sistemas alternativos de tratamento de efluentes (como os banhados construídos), e sua conseqüente implementação, se faz necessária e de grande valia para a manutenção da qualidade do meio ambiente e, em especial, da vida e saúde do ser humano. Além disso, a investigação sobre as melhores formas de construção destes sistemas também é um ponto crucial, pois existem inúmeras variantes que podem

interferir nos percentuais de remoção de poluentes e conseqüentemente na eficiência do tratamento.

Neste intuito o objetivo do trabalho foi avaliar as características elementares médias de lixiviado tratado, proveniente de células de disposição de resíduos sólidos já encerradas, localizadas no aterro municipal de Cascavel, PR, identificando e quantificando Ca, Ti, V, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr, Zn, Cd e Pb; selecionar diferentes tipos de plantas que sejam adequadas para o tratamento do lixiviado avaliado por meio de testes de adaptação, levando em consideração aspectos qualitativos de seu desenvolvimento; bem como realizar levantamento bibliográfico de literatura sobre o assunto.

## **2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Para melhor explanação o trabalho foi dividido em duas etapas que ocorreram concomitantemente, a primeira delas diz respeito a um estudo de revisão bibliográfica/levantamento bibliográfico de caráter analítico a respeito do uso de banhados construídos para o tratamento/pós-tratamento de efluentes, em especial aqueles gerados em locais de disposição de resíduos sólidos; além de se abordar alguns tópicos relacionados com a problemática ambiental dos resíduos sólidos; descrever com certos detalhes a área em que o aterro sanitário municipal de Cascavel, PR, está inserido, bem como o próprio aterro. As informações, ou resultados, obtidos nesta etapa do trabalho estão descritos no tópico 3, fundamentação teórica. A segunda etapa será “chamada” de parte experimental. Uma vez que nesta etapa foram realizadas, portanto, amostragem, armazenamento, preparo, análise e caracterização multielementar de amostras das matrizes líquidas (lixiviado), bem como sua comparação com a legislação; e, por fim, a avaliação qualitativa do desenvolvimento de diferentes tipos de plantas, realizada por teste de adaptação na *wetland* em escala piloto. A segunda etapa tem seus resultados descritos na seção resultados e discussão.

### **2.1 Primeira Etapa: levantamento bibliográfico**

O levantamento bibliográfico foi realizado pela busca em literatura, de setembro de 2017 a maio de 2018, nas bases de dados do portal Capes (tese e dissertações),



da biblioteca virtual da SciELO, e outras, nos idiomas inglês e português, abrangendo artigos publicados entre os anos de 1996 e 2018. Após a seleção dos artigos conforme os critérios de inclusão previamente definidos, foram seguidos, nessa ordem, os seguintes passos: leitura exploratória; leitura seletiva e escolha do material que se adequam aos objetivos e tema do estudo proposto: leitura analítica e análise dos textos, finalizando com a realização de leitura interpretativa e redação. Após estas etapas, constituiu-se um *corpus* do estudo agrupando os temas mais abordados nas seguintes categorias/tópicos:

- Problemática ambiental e os resíduos sólidos, no qual estão descritos e introduzidos alguns problemas relacionados à geração e a disposição dos resíduos, bem como alguns índices característicos do Brasil como um todo e mais especificamente da região de estudo;
- Lixiviados de aterros sanitários, descrevendo as características médias encontradas em literatura e alguns outros fatores determinantes em relação a elas;
- Aterro sanitário de Cascavel – PR, tópico no qual descreve-se a área do aterro, e suas características específicas;
- E, por fim, banhados construídos, onde são descritos os diferentes tipos, a definição, exemplos de utilização e os pormenores dos sistemas de tratamento que se utilizam desta tecnologia.

## **2.2 Segunda etapa: Pesquisa experimental**

### ***Amostragem e conservação de matrizes líquidas***

Para a amostragem das matrizes líquidas, mais especificamente do lixiviado, foram coletadas, numa primeira etapa, 5 amostras de 1 litro do efluente estocado na lagoa de contenção do sistema de tratamento do antigo aterro sanitário de Cascavel, PR, representando, desta forma o efluente tratado. As amostras foram acondicionadas em potes plásticos com tampa de rosca, preparados de antemão e conservados sob refrigeração. Na segunda amostragem foram coletados 400 litros de efluente na mesma lagoa, visando a representação elementar média mais precisa possível do lixiviado amostrado. As amostras foram armazenadas de modo a preservar as

características elementares. As amostras de efluente foram coletadas, preservadas e armazenadas seguindo as recomendações da ABNT (NBR 9.898/1987).

### **Preparo das amostras**

As amostras foram preparadas usando o método do padrão interno. Onde realizou-se uma análise prévia no efluente visando identificar quais os elementos podiam ser utilizados como padrão. Neste caso verificou-se a possibilidade de uso de Ga. O uso do padrão interno permite a quantificação das amostras e corrige algumas instabilidades do sistema, como problemas de posicionamento ou de geração, emissão e detecção dos raios X (MOREIRA *et al.*, 2006). Após a identificação do elemento de padrão interno foi adicionado o volume de 50  $\mu\text{L}$  de solução padrão de gálio<sup>1</sup> (1  $\text{g.L}^{-1}$ ) a 950  $\mu\text{L}$  de efluente. Após a diluição do padrão foi pipetado então 5  $\mu\text{L}$  da amostra em discos de quartzo previamente preparados, os quais foram secos por 24 horas em capela de fluxo laminar a temperatura ambiente (DE PAULI, 2018).

### **Coleta e análise de dados**

A coleta de dados diz respeito a etapa de retirada das informações das amostras por meio do uso de técnicas experimentais. Foi realizada a identificação e quantificação de Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb. Para a leitura da concentração elementar foi utilizado o método de espectrometria de fluorescência de raio X por reflexão total. A fluorescência de raios X é uma técnica multielementar e simultânea que tem como objetivo reconhecer e quantificar inúmeros elementos da tabela periódica e é muito utilizada para análise de metais (HOOGERSTRAETE *et al.*, 2014). As amostras são irradiadas por um feixe de radiação, e por meio da interação entre radiação e matéria é emitido energia característica bem definida, que permite

---

<sup>1</sup> O gálio é um metal líquido a temperatura ambiente. Este padrão consiste de uma solução de gálio, preparada a partir da dissolução do gálio com teor > 99,9% em ácido nítrico de alta pureza e diluído com água tipo I (> 18 Mohms). É destinado principalmente para uso em análises de metais por técnicas atômicas como a espectrofotometria de absorção atômica de chama (FAAS) ou forno de grafite (GFAAS). A adição da solução padrão de Gálio (1  $\text{g.L}^{-1}$ ) objetiva a quantificação dos elementos presentes na amostra. A quantificação pela técnica de TXRF é permitida pois ao se adicionar uma concentração conhecida de um elemento pré-definido (que não existe na amostra *in natura*, fato apontado pela análise prévia) sabe-se que a área resultante no espectro de resposta é proporcional a tal concentração. Desta forma a concentração dos outros elementos avaliados leva em consideração a área do espectro destes elementos e a relação entre a concentração e a área do espectro do elemento utilizado como padrão interno (Ga).

identificar o átomo (elemento) e por meio da intensidade da radiação os elementos são quantificados (ALOV, 2011; FICARIS, 2004; SANTOS, 2016; WANG et al., 2016). Os dados foram analisados por meio de técnicas estatísticas e com o uso de softwares que permitam as análises necessárias. Os dados referentes a caracterização do efluente serão confrontados com legislação em vigor (CONAMA 430, 2011), permitindo concluir sobre a possibilidade do lançamento do efluente tratado em corpos d'água, observando, logicamente, o seu enquadramento (CONAMA 357, 2005).

### ***Unidade experimental e testes de adaptação***

A *wetland* em escala piloto foi concebida adotando fluxo subsuperficial misto (vertical e horizontal), com volume de cerca de 100 litros, construída a partir de uma bombona de 200 litros de PEAD serrada ao meio. Foi utilizada uma camada de 25 cm de areia grossa como meio suporte. Primeiramente foi realizada a lavagem do meio pela passagem de água em fluxo contínuo por uma semana. Após a lavagem as mudas foram plantadas na *wetland* e banhadas também por água pelo período de 20 dias (1ª fase dos testes). Depois da fase de cultivo inicial as plantas foram banhadas de modo a deixar o meio suporte completamente saturado com o lixiviado coletado da lagoa do aterro sanitário pelo período de 30 dias (2ª fase dos testes). Foram escolhidas plantas das espécies: Orelha-de-elefante (*Colocasia gigantea*), roxa e verde; comigo-ninguém-pode (*Dieffenbachia seguine*); flor do Jorge Tadeu (*Anthurium*) e Agave-dragão (*Agave attenuata*). Nos testes de adaptação os dados resultantes obtidos são qualitativos, coletados, portanto, através da simples observação.

## **3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO**

### **3.1 Problemática ambiental e os resíduos sólidos**

No Brasil os resíduos sólidos são redefinidos como material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, 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 técnica ou economicamente inviáveis em

face da melhor tecnologia disponível, de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei 12.305 de 12 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010). Em sua grande maioria os resíduos sólidos possuem no Brasil como método de destinação final a disposição sobre o solo, por meio dos aterros sanitários (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE, 2016), sendo das prefeituras a responsabilidade da promoção da coleta, do transporte e da destinação final (BRASIL, 2010). Mesmo que consideradas formas ilegais de disposição pela PNRS ainda é destinado um grande percentual (42 %) de resíduos sólidos a aterros controlados ou lixões. No Brasil foram geradas 78,3 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) em 2016, das quais apenas 71,3 milhões de toneladas foram coletadas, em termos percentuais a coleta de RSU chegou a cerca de 91 % em 2016, o que significa que cerca de 7,2 milhões de toneladas tiveram destino impróprio. A região Sul do Brasil corresponde a 10,7 % da quantidade total de RSU coletado, resultando em um montante de 7,6 milhões de toneladas, apresentando um índice de abrangência de coleta de RSU de 95 %, ou seja, apenas nesta região cerca de 380 mil toneladas de resíduos deixaram de ser coletadas (ABRELPE, 2016). Em 2015 o estado do Paraná gerou 3,2 milhões de toneladas de resíduos e deste total 3 milhões de toneladas chegaram a ser coletadas (94 %) (ABRELPE, 2015).

Segundo Matos *et al.* (2011) a alta geração de resíduos sólidos, o crescimento populacional desordenado e o aumento da taxa de geração per capita são problemas de ordem global, porém os impactos mais graves decorrentes destes aspectos ambientais são mais perceptíveis e causam maiores danos ao meio ambiente e à saúde humana nos países em desenvolvimento, fato que se deve, segundo Jacobi e Bensen (2011), principalmente, ao déficit financeiro e a problemas de gestão e administração.

A disposição direta dos resíduos sobre o solo influencia diretamente nas características do mesmo, uma vez que ocorrem diversos tipos de reações físico-químicas e biológicas que se relacionam entre si (ABREU JÚNIOR *et al.*, 2005). Quando inadequada, a disposição, pode provocar graves impactos afetando o meio ambiente como um todo (RODRIGUES *et al.*, 2014), poluindo o solo pela liberação de metais pesados e compostos orgânicos tóxicos, decorrentes, principalmente, da decomposição dos resíduos (MORALES, 2002; TARTARI, 2003; LAUERMANN, 2007). De encontro a estes fatores os aterros sanitários são concebidos de forma a

possuírem uma distribuição ordenada de rejeitos, observando normas operacionais e possuindo critérios de engenharia, evitando assim danos ou riscos a saúde e ao meio ambiente, e sendo considerados, portanto, uma forma de disposição final adequada (BRASIL, 2010). Os aterros possuem, necessariamente, impermeabilizantes de base e de lateral, sistemas de coleta e tratamento de emissões atmosféricas e de efluentes líquidos, e sistemas de cobertura periódica e final (MANGILI, 2006). O monitoramento periódico também é um procedimento obrigatório nos aterros, visando à detecção de desconformidades e reduzindo eventuais danos ambientais, bem como os custos com intervenções pontuais (CEMA, 2014; NETO *et al.*, 2010). Apesar de todos os cuidados tomados para a implementação e a operação das atividades nos aterros sanitários existem diversos aspectos que apresentam grandes riscos e são capazes de gerar impactos ambientais significativos. Devido ao potencial poluidor dos resíduos dispostos nos locais os aterros sanitários são responsáveis por influenciar direta e significativamente grandes áreas (dependendo da concepção do projeto) no seu entorno (BECK *et al.*, 2010). Dentre os diversos aspectos ambientais existentes nos aterros sanitários os efluentes líquidos, gerados pela decomposição dos resíduos nos locais de disposição, são aqueles que possuem maior necessidade de gerenciamento.

### ***Lixiviados de aterros sanitários***

Chorume, lixiviado, ou líquido percolado, é como é chamado o efluente gerado nas células de disposição de resíduos sólidos (ROWE, 2007). A degradação da matéria orgânica presente nestas pilhas, a umidade natural dos resíduos e das bactérias e microrganismos existentes são as principais fontes deste efluente (MATOS *et al.*, 2011; PENG, 2017). Os líquidos percolados possuem, geralmente, elementos com alto grau de toxicidade (CAMPOS & PIVELI, 2016). O tratamento do chorume, além de ser indispensável, é uma medida de proteção ambiental da área, que visa garantir a saúde e segurança do pessoal envolvido nas atividades do aterro e dos moradores próximos (DE PAULI *et al.*, 2018; SERAFIM *et al.*, 2003).

Os lixiviados de aterros sanitário possuem uma complexa matriz de contaminantes, formada por uma alta concentração de compostos nitrogenados, fosfatos, íons metálicos, materiais orgânicos, xenobióticos (como fenóis, pesticidas e hidrocarbonetos) e diversos outros componentes tóxicos (BECK *et al.*, 2010; DE PAULI *et al.*, 2018; HIRA *et al.*, 2018; MOODY & TOWNSEND, 2017;

PASKULIAKOVA *et al.*, 2018; PENG, 2017). Além disso a composição dos líquidos percolados, o volume gerado, a concentração de contaminantes e diversas outras características específicas são decorrentes da combinação de múltiplos fatores, entre eles o tipo/composição dos resíduos dispostos nas células/trincheiras; pré-tratamento, tanto dos resíduos quanto do próprio lixiviado; profundidade das células; idade do aterro; clima, entre outros (DE PAULI *et al.*, 2018; HIRA *et al.*, 2018; PASKULIAKOVA *et al.*, 2018; SEGATO & SILVA, 2000). Na Tabela 1 são verificados os principais parâmetros avaliados dos líquidos percolados gerados em aterros sanitários e seus valores médios segundo diversos autores e trabalhos.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos dos lixiviados, de acordo com literatura

Parâmetros	Segato & Silva (2000)	Beck <i>et al.</i> (2010)	Naveen <i>et al.</i> , (2016)	De Pauli <i>et al.</i> , (2018)	Morais (2005)
pH	6,9 – 8,2	7,7 - 9	7,4 – 7,6	7,53 ± 0,20	8,3 ± 0,2
DQO (mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub> )	60.000 – 96.000	1.447 – 13.543	na	6.556 ± 565	5.100 ± 265
DBO <sub>5</sub> (mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub> )	na	440 – 3.680	1.500 – 3.000	2.909 ± 120	560 ± 78
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	4.300 – 6.600	246 - .1252	230 - 780	Na	2.590 ± 40
Zinco (mg.L <sup>-1</sup> )	175 – 260	0,1	2,4 - 3	1,62 ± 0,05	1,06 ± 0,02
Cobre (mg.L <sup>-1</sup> )	105 – 365	0,03	0,002 – 0,151	0,03 ± 0,01	0,36 ± 0,02
Ferro (mg.L <sup>-1</sup> )	70 – 500	7,45	11,16 – 12,04	56 ± 1	13,12 ± 0,07
Chumbo (mg.L <sup>-1</sup> )			0,22 – 0,3	0,31 ± 0,04	0,28 ± 0,01
Níquel (mg.L <sup>-1</sup> )			0,683 – 1,339	0,15 ± 0,02	1,43 ± 0,04
Cromo (mg.L <sup>-1</sup> )	na		0,011 – 0,024	0,26 ± 0,01	0,45 ± 0,02
Cálcio (mg.L <sup>-1</sup> )		na	400 - 440	119 ± 7	10,61
Vanádio (mg.L <sup>-1</sup> )				0,19 ± 0,01	na
Manganês (mg.L <sup>-1</sup> )	50 - 1200		na	0,95 ± 0,03	0,08

na – Parâmetro não avaliado no estudo citado

Fonte: Autores (2018)

É válido ressaltar que De Pauli *et al.*, (2018) apresentam a caracterização físico-química do lixiviado bruto coletado na entrada do novo sistema de tratamento de efluente do aterro sanitário municipal de Cascavel. Outros estudos também demonstraram concentrações de cromo, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo, zinco e outros íons inorgânicos e metálicos (ALVER & ALTAS, 2017; DAN *et al.*, 2017; SISINNO & MOREIRA, 1996; XIE *et al.*, 2015). Pela Tabela 1 verifica-se altos valores de DQO e DBO, que representam a matéria orgânica presente no efluente. Além disso as características químicas elementares também possuem altas valores, chegando a concentrações de até 56 mg.L<sup>-1</sup> para Fe e 119 mg.L<sup>-1</sup> para Ca. A existência de diversos metais pesados e elementos contaminantes também é observada (Cr, V, Pb, Zn, entre

outros). Desta forma percebe-se o alto potencial poluidor do lixiviado presente no aterro.

### **Área de estudo e o Aterro sanitário municipal de Cascavel, PR**

O município de Cascavel localiza-se no Oeste do estado do Paraná (IBGE, 2012). Possui área territorial de cerca de 2 mil km<sup>2</sup>, possuindo, em 2010, população de 286.205 habitantes (IPARDES, 2017). Possui, segundo IAPAR (2000), clima Cfa e sua vegetação nativa é floresta ombrófila mista. Além disso o município localiza-se sob três bacias hidrográficas Baixo Iguaçu, Paraná 3 e Piquiri. O aterro sanitário, mais especificamente, localiza-se no distrito de espigão azul, localidade novo horizonte, bacia baixo Piquiri.

O aterro sanitário de Cascavel está em funcionamento desde 1995, possuindo uma área total de cerca de 14 ha, em 2003 teve sua área ampliada para cerca de 24 ha. A antiga área do aterro sanitário não foi impermeabilizada com o uso de geomembranas, o que era permitido na época. Além disso essa “antiga área” possui um antigo sistema de tratamento do lixiviado gerado nas suas células de disposição. Este sistema de tratamento é formado por apenas três lagoas. Conforme visita no local a terceira lagoa (lagoa de contenção) deste sistema de tratamento não possui impermeabilização de base. além disso as duas primeiras possuem vários furos e rasgos que permitem o contato do efluente com o ambiente edáfico. Acredita-se que a última lagoa era utilizada, quando possuía os cuidados de manutenção adequados e necessários, como lagoa facultativa. Tais lagoas visam, principalmente, a remoção de nutrientes, sedimentação da matéria orgânica em suspensão e consumo da matéria orgânica solúvel.

### **3.2 Banhados construídos**

As zonas de raízes, também chamadas de *wetlands* e banhados construídos são sistemas de tratamento que tem o objetivo de recriar as áreas úmidas naturais com o intuito de se utilizar dos processos naturais para a estabilização dos efluentes, apresentando, porém, um ambiente/ecossistema mais controlado (VYMAZAL, 2011). Nestes sistemas existem grande diversidade de espécies, e se mostraram com grande eficiência para melhorar as características de águas poluídas e contaminadas. Nas

*wetlands* construídas com o propósito de se tratar efluentes faz-se o uso, portanto, de sistemas com solo, planta, microrganismos e água (efluente), buscando reproduzir as condições naturais (ZANELLA *et al.*, 2007). A remoção de matéria orgânica e dos nutrientes ocorre a partir de diversos processos físicos, químicos e biológicos, dados de maneira natural. (WU *et al.*, 2015). Estes sistemas possuem grande capacidade de remover vários tipos de poluentes como DBO (até 90 %), sólidos, nitrogênio e fósforo (70 %), metais pesados, e elementos contaminantes (ALGERI, 2015, BIDONE, 2007). Dentre os vários processos que são responsáveis pela remoção dos poluentes, os que possuem a maior influência para o processo de tratamento como um todo são: sedimentação; decomposição; filtração; adsorção; absorção; metabolização pelas plantas e microrganismos; e volatilização de alguns compostos (NUNES, 2012; BUI *et al.*, 2018). Segundo Fleck (2003) os sólidos suspensos são removidos por filtração e sedimentação; a matéria orgânica é removida por processos biológicos; o nitrogênio orgânico é removido por sedimentação ou filtração quando associado aos sólidos suspensos; removido pela incorporação as moléculas que formam o húmus do solo; removido pela sua hidrólise para posterior formação de amônia; os nitratos e fósforo são assimilados pelas plantas; os metais pesados e outros elementos contaminantes são retidos por adsorção ou bioacumulação.

As *wetlands* podem ser subdivididas de acordo com três critérios: por seu fluxo hidráulico, superficial ou subsuperficial; pelo tipo de planta, emergentes, submergidas ou de flutuação; e pelo fluxo de escoamento, vertical ou horizontal. Apesar disso os diversos tipos de *wetlands* podem ser combinados, de modo a se atingir as características desejadas do efluente, otimizando, em muitos casos, a remoção dos poluentes. Nestes casos podem ser projetados sistemas híbridos, onde a mesma *wetland* apresenta características de diferentes grupos, ou sistemas combinados, onde são utilizados mais de um tipo de *wetland* (VYMAZAL, 2011; BUI *et al.*, 2018). No caso das *wetlands* de fluxo superficial o efluente é escoado sob o solo, e elas podem ser comparados a lagoas facultativas, porquanto possuem duas zonas bem definidas, a zona aeróbia, localizada na superfície e a zona anaeróbia, localizada no fundo do alegado (OLIJNYK, 2008). As *wetlands* de fluxo subsuperficial são chamadas também de filtros plantados. Nestes é necessária a existência de um leito que serve como suporte para as plantas, este mesmo leito serve como filtro biológico pois nele há a formação de biofilme (ZANELLA, 2008) e segundo o mesmo autor estes são considerados mais eficientes para o tratamento de efluentes. Nesta classificação



entram as estações de tratamento por zona de raízes, propiciando locais ideais para o desenvolvimento de microrganismos. As zonas de raízes são alimentadas por tubulações perfuradas sobre as quais estão as plantas. O efluente tratado é coletado no fundo da estação por meio de tubulações. Além disso as estações devem ser impermeabilizadas (VAN KAICK, 2002). As características do efluente após passar pela zona de raízes permitem seu reuso por fertirrigação ou seu despejo em solo e em alguns casos em corpos d'água (NUNES, 2012).

Devido aos diversos tipos e formas construtivas as *wetlands* podem ser consideradas uma solução para o tratamento de diversos tipos de efluentes como esgotos domésticos, efluentes industriais dos mais diversos tipos, bem como lixiviados de aterros sanitários. Em muitos casos se apresentam também como alternativas eficientes para a remoção de diversos poluentes emergentes, que não são removidos por sistemas convencionais de tratamento. Alguns trabalhos demonstram altos percentuais de remoção de DBO, DQO e de compostos de nitrogênio, principalmente com a utilização de banhados construídos híbridos (WU *et al.*, 2015; BAKHSHOODEH *et al.*, 2017; WOJCIECHOWSKA, 2017; YIN *et al.*, 2017; YI *et al.*, 2017; BUI *et al.*, 2018). A utilização de banhados construídos em conjunto com tipos específicos de bactérias, adicionadas ao meio por inoculação, apresenta ainda diversas vantagens, pois os microrganismos promovem o crescimento das plantas, diminuem o stress causado nas mesmas e reduzem a toxicidade de efluentes. O sinergismo entre os microrganismos e as plantas nas *wetlands* permite, portanto, o aumento da capacidade de tratamento, bem como o aumento da eficiência destes sistemas (REHMAN *et al.*, 2018). Além de tudo as *wetlands* são conhecidas por possuírem baixo custo de instalação, fácil operação e manutenção e não necessitarem do uso de produtos químicos (JIANG *et al.*, 2016).

Em suma estes sistemas alternativos de tratamento de efluentes podem corresponder as necessidades presentes dos sistemas convencionais, melhorando a qualidade final dos efluentes, removendo alguns tipos de poluentes que não são eficientemente removidos e permitindo o reuso da água ou seu despejo em corpos hídricos e/ou sobre o solo. Apesar disso antes da implementação do projeto é necessária a investigação das melhores formas construtivas, por meio de testes em escala piloto, a fim de otimizar o processo, reduzindo o tempo de tratamento e os custos envolvidos com a implantação do sistema em escala real.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização elementar média do lixiviado do aterro sanitário de Cascavel

#### - PR

Foi realizada a caracterização multielementar do lixiviado da terceira lagoa do sistema de tratamento do “aterro antigo” pelo método de fluorescência de raios X por reflexão total. A disposição de resíduos nesta área teve início em 1995 e findou-se em 2003, quando uma nova área passou a ser utilizada. Desta forma o lixiviado avaliado tem uma idade de 23 anos. Os resultados das análises de concentração elementar do lixiviado podem ser observados na Tabela 2, descritas em  $\text{mg.L}^{-1}$ . Além disso encontram-se descritos os valores de concentração normatizados pela resolução Nº 430 de 13 de maio de 2011, do CONAMA, que dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores. A resolução descreve, portanto, os valores máximos de concentração de elementos encontrados em efluentes que serão destinados a corpos hídricos. Caso as concentrações elementares do efluente encontrem-se abaixo do padrão de lançamento é permitido seu despejo em corpos hídricos, levando em consideração também o enquadramento do corpo receptor (CONAMA Nº 357/2005). O método empregado (TXRF) pode identificar e quantificar elementos que possuem concentração que variam na faixa de  $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$  (10 partes por bilhão) até valores de  $200.000 \text{ mg.L}^{-1}$  (20 %) (DE PAULI *et al.*, 2018, RIBEIRO, 2018).

Tabela 2. Caracterização multielementar do lixiviado do aterro sanitário

Elemento	Concentração elementar	Resolução ambiental CONAMA 430/2011
Ca	21,93 ± 1,011	
Ti	0,10 ± 0,009	Nd
V	0,14 ± 0,008	
Cr*	0,11 ± 0,009	0,1 – 1,0
Mn	0,22 ± 0,015	1,0
Fe	5,63 ± 0,448	15,0
Ni	0,04 ± 0,003	2,0
Cu	0,05 ± 0,005	1,0
Zn	0,04 ± 0,001	5,0
Cd	52,40 ± 2,802	0,2
Pb	3,52 ± 0,310	0,5

nd – Concentração elementar não descrita na legislação

Cr\* - Os valores de cromo descritos na resolução CONAMA nº 430 estão divididos em Cr hexavalente ( $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e Cr trivalente ( $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ )

Fonte: Autores (2018)

Verifica-se pela Tabela 2 que as concentrações dos elementos Mn, Fe, Ni, Cu e Zn encontram-se abaixo dos valores estipulados pela resolução citada. Não se pode afirmar, porém, que a concentração encontrada de cromo foi menor que a descrita pela legislação para o cromo hexavalente, pois a técnica utilizada para a leitura das amostras resulta na concentração total do elemento, não diferenciando suas formas. Dos elementos relacionados verifica-se, portanto, que Cd e Pb apresentaram concentração mais elevada que aquela descrita pela norma, superando em 262 e 7 vezes, respectivamente, o valor máximo permitido. Para Ca, elemento sem valor máximo normatizado, verifica-se que as concentrações situam-se na abaixo da faixa descrita em literatura (Tabela 1), onde são apresentados valores de concentração de 400 a 440 (NAVEEN *et al.*, 2016), e  $119 \pm 6\%$  mg.L<sup>-1</sup> (DE PAULI *et al.*, 2018), porém maiores que aqueles encontrados por Moraes (2005), de 10,61 mg.L<sup>-1</sup>. A concentração de vanádio situou-se em faixa menor que a encontrada pelos autores De Pauli *et al.*, (2018), de 0,2 mg.L<sup>-1</sup>. É possível perceber também a existência de titânio mesmo que em baixa concentração ( $0,1 \pm 14\%$ mg.L<sup>-1</sup>) em relação com os outros elementos. Já era esperada certa discrepância entre os valores encontrados e aqueles descritos em literatura, uma vez que o clima, o município, os tipos de resíduos, idade do aterro e diversos outros fatores influenciam na composição e na concentração dos elementos presentes do lixiviado (DE PAULI *et al.*, 2018; HIRA *et al.*, 2018; PASKULIAKOVA *et al.*, 2018; SEGATO & SILVA, 2000).

#### **4.2 Testes de adaptação**

Os testes de adaptação demonstraram a possibilidade do uso de todas as plantas avaliadas para o pós-tratamento do lixiviado. Pode-se perceber, porém, que as plantas *Colocasia gigantea* roxa e *Anthurium* demonstraram crescimento acelerado e até mesmo eflorescência. Os testes de adaptação são apenas um primeiro passo para a concepção de sistemas de tratamento ou pós-tratamento por banhados construídos, uma vez que após os testes iniciais são realizados os testes de avaliação de eficiência do sistema. A avaliação de eficiência é dada, geralmente, pela diminuição de diversos parâmetros, como DBO, nutrientes, turbidez e concentrações elementares. Na figura 1 é observada a *wetland* no primeiro dia da segunda fase dos testes de adaptação, antes da fase de saturação do meio com lixiviado.



Figura 1. Aspecto visual das plantas na *wetland* antes da saturação do meio com efluente (término da primeira fase)

A figura 2 representa as plantas após 30 dias sob o efeito do meio saturado pelo efluente (final da segunda fase). Algumas delas foram podadas no início da segunda fase, como é o caso das *Colocasia gigantea* roxas.



Figura 2. Aspecto visual das plantas na *wetland* após a segunda fase dos testes de adaptação (30 dias de saturação do meio suporte com efluente)

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As *wetlands* podem ser consideradas uma solução para o tratamento de diversos tipos de efluentes como esgotos domésticos, efluentes industriais e lixiviados de aterros sanitários. Em muitos casos se apresentam também como alternativas eficientes para a remoção de poluentes emergentes, que não são removidos por sistemas convencionais de tratamento. Alguns trabalhos demonstram altos percentuais de remoção de DBO, DQO e de compostos de nitrogênio, principalmente com a utilização de banhados construídos híbridos. (BAKHSHOODEH et al., 2017; BUI et al., 2018; WOJCIECHOWSKA, 2017; WU et al., 2015; YI et al., 2017; YIN et al., 2017). Além disso são conhecidas por possuírem baixo custo de instalação, fácil operação e manutenção (JIANG et al., 2016).

Em suma, por meio da caracterização elementar do lixiviado, foi possível verificar a impossibilidade do seu despejo direto em corpos hídricos, tanto devido à alta concentração de Cd e Pb quanto a falta de estudos que comprovem a não toxicidade do efluente, pois segundo a seção II, Art. 18º, da resolução CONAMA 430: “O efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de ecotoxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente”. Apesar disso o artigo 2º afirma que “a disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não está sujeita aos parâmetros e padrões de lançamento dispostos na Resolução, não podendo, todavia, causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas.” Portanto, caso ocorra a disposição no solo ela deve ser respaldada em estudos que comprovem a não poluição das águas superficiais e subterrâneas na área de influência. Além disso Ca, e V foram encontrados em concentração semelhante ou mais baixas do que a descrita em literatura (DE PAULI *et al.*, 2018; NAVEEN *et al.*, 2016).

Os testes de adaptação mostraram resultados satisfatórios quanto ao uso das plantas escolhidas para o pós-tratamento do lixiviado do antigo aterro sanitário de Cascavel, PR, em *wetland* de fluxo subsuperficial misto, em especial *Colocasia gigantea* roxa e *Anthurium*. Desta forma apontou-se que o lixiviado em questão não pode ser despejado em corpos hídricos receptores e nem mesmo lançado sobre o solo sem o pós-tratamento adequado, que pode ser realizado em sistemas de banhados construídos com o uso das espécies de plantas avaliadas.

## ABSTRACT

The objectives of this paper were to evaluate the elementary characteristics of the treated leachate from the old municipal landfill of Cascavel, PR; select different plant types that are suitable for the post-treatment of this leachate; to do a bibliographic survey on the subject. The bibliographical survey was carried out by searching in several data bases embracing articles published between 1996 and 2018. The leachate was analyzed according to the TXRF technique and prepared using the internal standard method. The adaptation tests were executed in a subsurface mixed flow pilot-scale wetland, using *Colocasia gigantea*, *Dieffenbachia* following, *Anthurium* and *Agave attenuate* plant species. The seedlings were bathed by water for 20 days and then leachate for 30 days. The bibliographic survey allowed to define basic concepts and made possible the investigation of the last subjects approached on the subject. High concentrations of Ca ( $22.6 \pm 4 \%$ ), Fe ( $5.6 \pm 8 \%$ ), Cd ( $52,4 \pm 5 \%$ ) and Pb ( $3.5 \pm 9\%$ ) were reported, of which Cd and Pb were above standards for effluent discharges into water bodies. Adaptation tests showed that all species chosen can be used for designing wetlands for post-treatment of the leachate in question. Thus, the leachate's discharge should not be allowed in water bodies without adequate post-treatment, which can be done using the evaluated plant species.

**Keywords:** Wetlands; Landfill; Leachate; Adaptation tests; Post-treatment.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9.898 – Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama Dos Resíduos Sólidos No Brasil**. 2014/2015/2016.

ABREU JÚNIOR, C. H., BOARETTO, A. E., MURAOKA, T., KIEHL, J. C. **Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal**. *Tópicos em Ciência do Solo*, v. 4, n. 1, p. 391–470, 2005.

ALGERI, A. **Implantação de uma estação de tratamento de esgoto por zona de raízes em uma propriedade rural**. Monografia apresentada no Curso de Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. 2015

ALOV, N. V. Total reflection X-ray fluorescence analysis: Physical foundations and analytical application (A review). **Inorganic Materials**, v. 47(14), p. 1487-1499, 2011.

ALVER, Alper; ALTAŞ, Levent. Characterization and electrocoagulative treatment of landfill leachates: A statistical approach. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 111, p. 102-111, 2017.

APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed., Washington, DC: APHA, 2012.

BAKHSHOODEH, Reza *et al.* Compost leachate treatment by a pilot-scale subsurface horizontal flow constructed *wetland*. **Ecological Engineering**, v. 105, p. 7-14, 2017.

BECK, M. H., KORF, E. P., SANTOS, V. R., THOMÉ, A., ESCOSTEGUY, P. A. V. Monitoramento das Águas Subterrâneas e Lixiviado do Local de Disposição dos Resíduos Sólidos Urbanos do Município de Passo Fundo - RS. **REGA**, v. 7, n. 1, p. 29–44, 2010.

BIDONE, R. F. **Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por um sistema composto por filtros anaeróbios seguidos de banhados construídos: estudo de**



**caso-Central de Resíduos do Recreio, em Minas do Leão/RS.** 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BRASIL, Presidência da República. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. Política Nacional de Resíduos sólidos (PNRS). 2010.

BUI, Xuan-Thanh *et al.* Wastewater treatment and biomass growth of eight plants for shallow bed *wetland* roofs. **Bioresource Technology**, v. 247, p. 992-998, 2018.

CAMPOS, F.; PIVELI, R. P. Redução da toxicidade aguda de lixiviado de aterro sanitário em co-tratamento com esgoto doméstico pelo processo integrado de lodo ativado com biofilme em leito móvel. **Revista Ambiente e Agua**, v. 11, n. 2, p. 316–326, 2016.

CEMA - Conselho Estadual do Meio Ambiente. Resolução nº 094 de 4 de novembro de 2014. Estabelece diretrizes e critérios orientadores para o licenciamento e outorga, projeto, implantação, operação e encerramento de aterros sanitários, visando o controle da poluição, da contaminação e a minimização de seus impactos ambientais e dá outras providências. Curitiba. (2014).

CHENG, C.Y.; CHU, L.M. Fate and distribution of nitrogen in soil and plants irrigated with landfill leachate. **Waste Management**,v. 31,p. 1239–1249. 2011

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. 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. Diário Oficial da União, p. 605–612. Brasília – DF. 2005.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, p. 81-84. Brasília – DF. 2011.

DAN, A. *et al.* Removal of heavy metals from synthetic landfill leachate in lab-scale vertical flow constructed *wetlands*. **Science of The Total Environment**, v. 584, p. 742-750, 2017.

DE PAULI, A. R., ESPINOZA-QUIÑONES, F. R., TRIGUEROS, D. E. G., MÓDENES, A. N., DE SOUZA, A. R. C., BORBA, F. H., & KROUMOV, A. D. Integrated two-phase

purification procedure for abatement of pollutants from sanitary landfill leachates, In **Chemical Engineering Journal**, Volume 334, 2018. Pages 19-29, ISSN 1385-8947.

FICARIS, M. Análise de metais pesados em águas subterrâneas empregando a fluorescência de raios X por reflexão total com radiação síncrotron (SR-TXRF). Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2004. Dissertação (mestrado).

FLECK, E. Sistema integrado por filtro anaeróbio, filtro biológico de baixa taxa e banhado construído aplicado ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário. Dissertação de mestrado. Instituto de pesquisas hidráulica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2003.

HIRA, Daisuke et al. Impact of aerobic acclimation on the nitrification performance and microbial community of landfill leachate sludge. *Journal of environmental management*, v. 209, p. 188-194, 2018.

HOOGERSTRAETE, T. V. Jamar, S., Wellens, S., & Binnemans, K. **Determination of Halide Ions in Solution by Total Reflection X-ray Fluorescence (TXRF) Spectrometry**. *Analytical chemistry*. v. 86, n. 3, p. 1391-1394, 2014.

IAPAR - Instituto Agrônomo do Paraná. CAVIGLIONE, J. H., KIIHL, L. R. B., CARAMORI, P. H., OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. CD. Disponível em:  
<<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>>. Acesso em: novembro de 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades. Cascavel**. 2012. Disponível em:  
<<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=410480&search=parana|cascavel|infograficos:-informacoes-completas>>. Acesso em: novembro de 2017.

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e social. **Perfil avançado do município de Cascavel**. 2017. Disponível em:  
<[http://www.ipardes.gov.br/perfil\\_municipal/MontaPerfil.php?codlocal=164&btOk=ok](http://www.ipardes.gov.br/perfil_municipal/MontaPerfil.php?codlocal=164&btOk=ok)>. Acesso em: novembro de 2017.

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

JIANG, Luhua *et al.* The use of microbial-earthworm ecofilters for wastewater treatment with special attention to influencing factors in performance: a review. **Bioresource technology**, v. 200, p. 999-1007, 2016.

LAUERMANN, A. Caracterização química dos efluentes gerados pelo aterro controlado de Santa Maria e retenção de chumbo e zinco por um argilossolo da depressão central do Rio Grande do Sul. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS. 2007.

MANGILI, G. S. **Análise Dos Indicadores De Qualidade Ambiental Na Operação Do Aterro Sanitário Do Município De Içara** – SC. Monografia. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental. Universidade do extremo sul catarinense (UNESC). Criciúma. SC 2006.

MATOS, F. O., MOURA, Q. L., CONDE, G. B., MORALES, G. P., BRASIL, É. C. Impactos ambientais decorrentes do aterro sanitário da região metropolitana de Belém-PA: aplicação de ferramentas de melhoria ambiental. **Caminhos da Geografia**, V. 12, N. 39, P. 297–305, 2011.

MOODY, Chris M.; TOWNSEND, Timothy G. **A comparison of landfill leachates based on waste composition**. Waste Management, v. 63, p. 267-274, 2017.

MOHAMMED, Alya; BABATUNDE, A. O. Modelling heavy metals transformation in vertical flow constructed *wetlands*. **Ecological Modelling**, v. 354, p. 62-71, 2017.

MOJIRI, Amin *et al.* Co-treatment of landfill leachate and municipal wastewater using the ZELIAC/zeolite constructed *wetland* system. **Journal of environmental management**, v. 166, p. 124-130, 2016.

MORAIS, J. L. Estudo da potencialidade de processos oxidativos avançados, isolados e integrados com processos biológicos tradicionais, para tratamento de chorume de aterro sanitário. 2005.

MORALES, G. P. **Avaliação ambiental dos recursos hídricos, solos e sedimentos na área de abrangência do Depósito de Resíduos Sólidos do Aurá**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2002. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Belém – PA. 2002.

MOREIRA, S.; FICARIS, M.; VIVES, A. E. S.; NASCIMENTO FILHO, V. F.; ZUCCHI, O. L. A. D.; BARROSO, R. C.; JESUS, E. F. O. **Heavy metals in groundwater using Synchrotron Radiation Total Reflection X-Ray Analysis**. Instrumentation Science and Technology, v. 34, p.567–585, 2006.

NAVEEN, B. P., MAHAPATRA, D. M., SITHARAM, T. G., SIVAPULLAIAH, P. V., RAMACHANDRA, T. V. **Physico-chemical and biological characterization of urban municipal landfill leachate, In Environmental Pollution**, Volume 220, Part A, 2017, Pages 1-12, ISSN 0269-7491.

NETO, A. S., IWAI, C. K., WOLMER, F. A., POTENZA, J.L., ASSUMPÇÃO, M. H. P. L. Manual de operação de aterro sanitário em valas. **Programa ambiental estratégico**. São Paulo. CETESB, 2010.

NUNES, José Alves. **Tratamento biológico de águas residuárias**. 3. Ed. p.159. Editora J. Andrade. Aracaju, 2012.

OGATA, Yuka *et al.* Water reduction by constructed *wetlands* treating waste landfill leachate in a tropical region. **Waste management**, v. 44, p. 164-171, 2015.

OLIJNYK, Débora P. Avaliação da nitrificação e desnitrificação de esgoto doméstico empregando filtros plantados com macrófitas (*wetlands*) de fluxos vertical e horizontal – sistemas híbridos. 112p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). UFSC, Florianópolis, 2008

PASKULIAKOVA, Andrea *et al.* Microalgal bioremediation of nitrogenous compounds in landfill leachate–The importance of micronutrient balance in the treatment of leachates of variable composition. *Algal Research*, v. 32, p. 162-171, 2018.

PENG, Yao. **Perspectives on technology for landfill leachate treatment**. *Arabian Journal of Chemistry*, v. 10, p. S2567-S2574, 2017.

REHMAN, Khadeeja *et al.* Inoculation with bacteria in floating treatment *wetlands* positively modulates the phytoremediation of oil field wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, 2018.

RIBEIRO, I. ANÁLISE **Estatística multivariada da composição elementar de sedimentos do Rio Boi Piguá no entorno do aterro sanitário da cidade de Cascavel – PR**. Dissertação apresentada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, área de concentração em monitoramento e controle ambiental. 2018.

RODRIGUES, M. V. C. GIRALDI, E. H., SANTOS, M. M., COSTANZI, R. N., CELLIGOI, A. Avaliação preliminar da qualidade das águas subterrâneas e superficiais na área de entorno do antigo lixão no município de Rolândia-PR. XVIII Congresso brasileiro de águas subterrâneas. **Revista Águas Subterrâneas**. 2014.

ROWE JUNIOR, E. **Diagnóstico ambiental da área do aterro sanitário do município de Cascavel – Pr**. Dissertação de pós-graduação em engenharia agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, mestrado. Área de concentração: Engenharia de Recursos hídricos e Meio Ambiente. Cascavel - PR. 2007.

SANTOS, J. DOS. Avaliação e aplicação de metodologia da técnica espectrométrica de fluorescência de raios X por reflexão total (TXRF) na caracterização multielementar em particulados sólidos de amostras ambientais. Dissertação apresentada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, área de concentração em monitoramento e controle ambiental. 2016.

SEGATO, L. M., SILVA, C. L. D. **Caracterização do chorume do aterro sanitário de Bauru**. In: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y ambiental, 27. ABES, 2000. p. 1-9 [tV].

SERAFIM, A. C. GUSSAKOV, K. C. SILVA, F. CONEGLIAN, C. M. R. BRITO, N. N. SOBRINHO, G. D. TONSO, S. PELEGRINI, R. Chorume, impactos ambientais e possibilidades de tratamentos. Centro Superior de Educação Tecnológica (CESET) – UNICAMP. III **Fórum de Estudos Contábeis**, 2003.

SISINNO, C. L.; MOREIRA, J. C. Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. *Cad Saúde Pública*, v. 12, n. 4, p. 515–523, 1996.

TARTARI, L.C. **Avaliação do processo de tratamento do chorume do aterro sanitário de Novo Hamburgo**. Dissertação de Mestrado - Universidade Luterana do Brasil, Programa de Pós-graduação em Engenharia – Energia, Ambiente e Materiais. 2003.

VAN KAICK, T. S. Estação de tratamento de esgoto por meio de zona de raízes: uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná. 2002. 128 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

VYMAZAL, J. Constructed *wetlands* for wastewater treatment: five decades of experience. **Environ. Sci. Technol.** 45 (1), 61–69. 2011.

WANG, L. L. Yu, H. S., Li, L. N., Wei, X. J., Huang, Y. Y. **The development of TXRF method and its application on the study of trace elements in water at SSRF.** Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, v. 375, p. 49–55, 2016.

WOJCIECHOWSKA, Ewa. Potential and limits of landfill leachate treatment in a multi-stage subsurface flow constructed *wetland*–Evaluation of organics and nitrogen removal. **Bioresource technology**, v. 236, p. 146-154, 2017.

WU, Haiming *et al.* Decentralized domestic wastewater treatment using intermittently aerated vertical flow constructed *wetlands*: impact of influent strengths. **Bioresource technology**, v. 176, p. 163-168, 2015.

YI, Xinzhu *et al.* Removal of selected PPCPs, EDCs, and antibiotic resistance genes in landfill leachate by a full-scale constructed *wetlands* system. **Water research**, v. 121, p. 46-60, 2017.

YIN, Tingru *et al.* Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances removal in a full-scale tropical constructed *wetland* system treating landfill leachate. **Water research**, v. 125, p. 418-426, 2017.

XIE, S., MA, Y., STRONG, P. J., CLARKE, W. P. Fluctuation of dissolved heavy metal concentrations in the leachate from anaerobic digestion of municipal solid waste in commercial scale landfill bioreactors: The effect of pH and associated mechanisms. **Journal of hazardous materials**, v. 299, p. 577-583, 2015.

ZANELLA, L., Nour, E. A. A., Roston, D. M.,. *Wetlands*-construídas vegetadas com plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes domésticos. **FEC/UNICAMP**, 3pp. 2007