



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Juliana Yoshie Horisawa

**Estudo experimental de *wetlands* construídos como unidade de polimento no tratamento de lixiviados de aterros sanitários**

Rio de Janeiro

2013

Juliana Yoshie Horisawa

**Estudo experimental de *wetlands* construídos como unidade de polimento no tratamento de lixiviados de aterros sanitários**



Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. João Alberto Ferreira  
Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Daniele Maia Bila

Rio de Janeiro  
2013

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

H811 Horisawa, Juliana Yoshie.  
Estudo experimental de wetlands construídos como unidade de polimento no tratamento de lixiviados de aterros sanitários / Juliana Yoshie Horisawa. - 2013. 102fl.

Orientador: João Alberto Ferreira.  
Coorientadora: Daniele Maia Bila.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Ambiental. 2. Lixiviado – Dissertações.  
3. Aterro sanitário - Dissertações. I. Ferreira, João Alberto.  
II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 628.4

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

Juliana Yoshie Horisawa

**Estudo experimental de *wetlands* construídos como unidade de polimento no tratamento de lixiviados de aterros sanitários**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Data da Defesa: 09 de abril de 2013.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. João Alberto Ferreira (Orientador)  
Faculdade de Engenharia - UERJ

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Daniela Maia Bila (Coorientadora)  
Faculdade de Engenharia - UERJ

---

Prof. Dr. Olavo Barbosa Filho  
Faculdade de Engenharia - UERJ

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Juacyara Carbonelli Campos  
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Rio de Janeiro

2013

## DEDICATÓRIA

Ao meu Senhor, pela graça da vida e por ter  
me guiado e fortalecido a cada dia, me  
permitindo chegar até aqui.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, por ter me ajudado a superar todas as dificuldades da vida.

Aos meus pais, Conceição de Lourdes (*in memorian*) e Asaharu Horisawa (*in memorian*), pois sempre me incentivaram e me apoiaram em todos os momentos da minha vida.

Ao meu filho, Mateus Horisawa, meu melhor amigo e companheiro, por estar comigo me trazendo alegria e me fazendo me sentir amada em mais essa etapa da minha vida.

À minha irmã, Elaine Assayo, e ao meu cunhado, Eduardo Costa, por sempre me incentivarem e acreditarem na minha capacidade.

Aos meus orientadores, João Alberto Ferreira e Daniele Bila, pelo aprendizado, pela paciência com meus erros e por essa oportunidade única em minha vida.

À prof Juacyara Carbonelli, por ter me aberto uma porta quando não sabia nem por onde começar e, por cedido seu laboratório, na UFRJ, LABTARE, para a realização de algumas análises.

A todos os funcionários e amigos do LES, principalmente Jarina Couto e Louise Felix, por toda a ajuda com as análises.

Às minhas amigas de mestrado, pessoas especiais que Deus colocou na minha vida, Caroline Mitai, Iara Almeida, Ana Carolina, Quézia Sant'Ana e Erica Mendez, pelo companheirismo e amizade.

Aos funcionários do CENPES, Gleidice e Bruno, pelo ensinamento e pelo treinamento em testes de toxicidade, Microtox.

A Novo Gramacho, por ter permitido a realização deste trabalho, em especial ao Fernando e ao “boiadeiro”, sem a ajuda deles teria sido impossível.

À ajuda financeira da FINEP e do CNPQ.

## RESUMO

HORISAWA, Juliana Yoshie. **Estudo experimental de *wetlands* construídos como unidade de polimento no tratamento de lixiviados de aterros sanitários.** 2013. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

A grande quantidade de resíduos sólidos gerados nas cidades é um desafio para o saneamento ambiental no Brasil. A fim de se reduzir os impactos gerados ao meio ambiente e à saúde pública, é necessário que haja um gerenciamento adequado, desde a coleta até a disposição final, desses resíduos sólidos urbanos. Os aterros sanitários permitem um maior controle ambiental, desde que sejam bem projetados e operados. A decomposição da matéria orgânica presente nesses resíduos, somada às águas das chuvas gera o lixiviado, líquido com alto potencial poluidor. Várias formas de tratamento são propostas com a finalidade de tornar o lixiviado menos poluente ao meio ambiente. *Wetlands* construídos tem se mostrado uma alternativa eficiente para a remoção de poluentes em lixiviados, além dos baixos custos operacionais e de implantação. O presente estudo investigou o uso de *wetlands* subsuperficiais em escala-piloto para o tratamento de um lixiviado pré-tratado. Os *wetlands* foram monitorados com a finalidade de se obter remoções de matéria orgânica e nitrogênio amoniacal. As maiores reduções percentuais de concentração de nitrogênio amoniacal, DQO e COD foram, 91%, 42% e 35%, respectivamente. As maiores reduções percentuais em carga de nitrogênio amoniacal e DQO foram, 67% e 50%, respectivamente. Os resultados dos ensaios de toxicidade realizados com os organismos *Vibrio fischeri* e *Danio rerio* revelaram que, a toxicidade do lixiviado foi reduzida ao ser tratado pelo *wetland*.

Palavras-chave: *Wetlands* subsuperficiais; Lixiviado; Tratamento de lixiviado.

## ABSTRACT

HORISAWA, Juliana Yoshie. **Experimental study of constructed wetlands as polishing unit in the treatment of landfill leachate**. 2013. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

Large amounts of solid wastes are generated in cities and this is a challenge for environmental sanitation in Brazil. In order to reduce impacts to the environment and to public health, it is necessary to manage these municipal solid wastes appropriately, from their collection to their final disposal. Landfills allow a greater environmental control, provided that they are well designed and operated. Landfill leachate generation results from the decomposition of the organic matter in the wastes, combined with the rainwater that percolates the waste. Landfill leachate has a high pollution potential. Various forms of treatment are proposed in order to attenuate the potential of the leachate to pollute the environment. Constructed wetlands seem to be efficient alternatives in removing leachate pollutants with low operational and implementation costs. The present study investigated the use of subsurface wetlands in pilot scale in a pretreated leachate treatment. The wetlands were monitored in order to obtain results in reducing the concentration and loads of pollutants. The best removal performance of the concentration of ammonia nitrogen, COD and DOC were 91%, 42% and 35%, respectively. The best removal performance of the load of ammonia nitrogen and DOC were 67% and 50%, respectively. The results of the toxicity tests conducted with *Vibrio fischeri* and *Danio rerio* revealed that wetlands were effective in reducing the toxicity of the leachate.

Keywords: Subsurface wetlands; Leachate; Leachate treatment.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de sistema de operação dos <i>wetlands</i> construídos.....	25
Figura 2 - Grupos ecológicos de macrófitas baseados em seu ambiente aquático.....	26
Figura 3 - Esquema de um <i>wetland</i> superficial com macrófitas emergentes .....	27
Figura 4 - Esquema de um <i>wetland</i> subsuperficial de fluxo horizontal.....	29
Figura 5 - Esquema de um <i>wetland</i> subsuperficial de fluxo vertical.....	30
Figura 6 - Formas clássicas de remoção de nitrogênio em <i>wetlands</i> .....	32
Figura 7 - Esquema da Estação de Tratamento de Efluentes do Aterro Metropolitano de Gramacho.....	49
Figura 8 - Desenho representativo de um protótipo de <i>wetland</i> .....	52
Figura 9 - Fotografia do local de retirada das mudas de taboa, ao lado da lagoa de equalização.....	52
Figura 10 - Fotografia de um corte transversal de uma muda de taboa.....	53
Figura 11 - Fotografia de uma das caixas preenchida com brita, durante a montagem dos protótipos.....	53
Figura 12 - Fotografia dos protótipos após a montagem e plantio das mudas de taboa, em setembro de 2011.....	54
Figura 13 - Fotografia dos protótipos após dois meses de operação, em novembro de 2011.....	54
Figura 14 - Esquema da diluição em um ensaio com a bactéria <i>Vibrio fischeri</i> ...	58
Figura 15 - Representação gráfica (box plot) da distribuição das concentrações de nitrogênio amoniacal no efluente do tratamento biológico e nos efluentes dos <i>wetlands</i> nas fases 1, 2, 3 e 4.....	63
Figura 16 - Concentrações de nitrogênio amoniacal no efluente do tratamento biológico e efluentes dos <i>wetlands</i> 1, 2 e 3, em cada dia de coleta...	63
Figura 17 - Valores das reduções de concentração de nitrogênio amoniacal nos <i>wetlands</i> 1, 2 e 3, nas fases 1, 2, 3 e 4.....	64
Figura 18 - Representação gráfica (box plot) da distribuição dos valores de pH no efluente do tratamento biológico e nos efluentes dos <i>wetlands</i> nas fases 1, 2, 3 e 4.....	66

Figura 19 - Representação gráfica (box plot) da distribuição dos valores de concentração de alcalinidade no efluente do tratamento biológico e no efluente dos <i>wetlands</i> durante a fase 4.....	67
Figura 20 - Representação gráfica (box plot) da distribuição dos valores de de concentração de nitrato no efluente do tratamento biológico e nos efluentes dos <i>wetlands</i> durante as fases 1, 2, 3 e 4.....	69
Figura 21 - Representação gráfica (box plot) da distribuição das concentrações de DQO no efluente do tratamento biológico e nos efluentes dos <i>wetlands</i> nas fases 1, 2, 3 e 4.....	71
Figura 22 - Valores do parâmetro DQO nos afluentes e efluentes dos <i>wetlands</i> em cada dia de coleta.....	71
Figura 23 - Valores das reduções de concentração de DQO, nos <i>wetlands</i> 1, 2 e 3, durante as fases 1, 2, 3 e 4.....	72
Figura 24 - Representação gráfica (box plot) da distribuição das concentrações de COD no efluente do tratamento biológico e nos efluentes dos dos <i>wetlands</i> .....	74
Figura 25 - Distribuição das concentrações de COD no efluente do tratamento biológico e efluentes dos <i>wetlands</i> em cada dia de coleta, das fases 1, 2 e 3.....	74
Figura 26 - Valores das reduções de concentração de COD, nos <i>wetlands</i> 1, 2 e 3, durante a pesquisa, nas fases 1, 2 e 3.....	75
Figura 27 - Reduções percentuais de carga orgânica de DQO nos <i>wetlands</i> 1, 2 e 3, durante a fase 4.....	76
Figura 28 - Reduções percentuais de carga de N-NH <sub>3</sub> nos <i>wetlands</i> 1, 2 e 3, durante a fase 4.....	77
Figura 29 - Concentrações de N-NH <sub>3</sub> dos efluentes dos <i>wetlands</i> 1 e 2, nas fases 2 e 3.....	81
Figura 30 - Valores de evaporação dos <i>wetlands</i> 1 e 2 juntamente com o índice pluviométrico local, durante as fases 1, 2 e 3.....	82
Figura 31 – Acompanhamento da perda de líquido diária nos <i>wetlands</i> 1, 2, 3 e 4, durante a fase 4.....	83
Figura 32 - Valores de redução de líquido em percentual nos <i>wetlands</i> 1, 2, 3 e 4 (controle), durante a fase 4.....	84

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Parâmetros físico-químicos utilizados na caracterização das amostras e suas respectivas metodologias descritas no Standard Methods .....	51
Tabela 2- Período de operação e afluentes aos <i>wetlands</i> nas 6 fases.....	55
Tabela 3 - Número de amostras coletadas nos <i>wetlands</i> durante as 4 fases iniciais de operação, onde A= afluente e E= efluente.....	56
Tabela 4 - Preparo de soluções teste para o ensaio de toxicidade com <i>Danio rerio</i> .....	58
Tabela 5 - Caracterização físico-química do lixiviado bruto do Aterro Metropolitano de Gramacho realizados no período de agosto de 2011 a maio de 2012.....	60
Tabela 6 - Caracterização físico-química do lixiviado tratado pelo processo de lodos ativados do Aterro Metropolitano de Gramacho realizada no período de agosto de 2011 e maio de 2012.....	61
Tabela 7 - Concentrações médias de nitrogênio amoniacal no efluente do tratamento biológico e nos efluentes dos <i>wetlands</i> nas fases 1, 2, 3 e 4...	62
Tabela 8 - Concentrações médias de nitrato no efluente do tratamento biológico e nos efluentes dos <i>wetlands</i> nas fases 1, 2, 3 e 4.....	68
Tabela 9 - Concentrações médias de DQO no efluente do tratamento biológico e nos efluentes dos <i>wetlands</i> nas fases 1, 2, 3 e 4.....	70
Tabela 10 - Concentrações médias de COD no efluente do tratamento biológico e nos efluentes dos <i>wetlands</i> nas fases 1, 2 e 3.....	73
Tabela 11 - Resultados dos ensaios de toxicidade aguda com o peixe <i>Danio rerio</i> (48h), no lixiviado bruto e no efluente do tratamento biológico..	78
Tabela 12 - Resultados dos ensaios de toxicidade aguda com o peixe <i>Danio rerio</i> (48%), no afluente e efluentes dos <i>wetlands</i> , em uma coleta da fase 4.....	78
Tabela 13 - Resultados dos ensaios de toxicidade aguda com a bactéria <i>Vibrio fischeri</i> (30 min.), nos efluentes dos <i>wetlands</i> , nas fases 2 e 3.....	79
Tabela 14 - Resultados dos ensaios de toxicidade aguda com a bactéria <i>Vibrio fischeri</i> (30 min.), nos efluentes dos <i>wetlands</i> , nas fases 2 e 3,	

juntamente com os respectivos valores das concentrações de DQO e N-NH <sub>3</sub> .....	80
Tabela 15 - Resultados dos valores de r dos testes estatísticos de correlação de Spearman.....	80

## LISTA DE SIGLAS

CE <sub>50</sub>	Concentração que causa efeito agudo a 50% dos organismos
CENO	Concentração de efeito não observado
COD	Carbono Orgânico Dissolvido
COMLURB	Companhia Municipal de Limpeza Urbana (Município do Rio de Janeiro)
CL <sub>50</sub>	Concentração inicial que causa letalidade a 50% dos organismos-testes
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DL <sub>50</sub>	Dose capaz de matar 50% dos organismos-testes
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DZ	Diretriz (FEEMA- RJ)
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia e Meio Ambiente (RJ)
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
UT	Unidade de Toxicidade
UV	Radiação Ultravioleta

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	14
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
1.1. Sistemas de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos.....	17
1.2. Lixiviados de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos.....	19
1.2.1. <u>Formação e Composição</u> .....	19
1.2.1. <u>Tratamento do Lixiviado</u> .....	22
1.3. <b>Wetlands</b> .....	23
1.3.1. <u>Wetlands Naturais</u> .....	23
1.3.2. <u>Wetlands Construídos</u> .....	24
1.3.3. <u>Tipos de Operação dos Wetlands Construídos</u> .....	25
1.3.4. <u>Remoção de Poluentes nos Wetlands</u> .....	31
1.3.5. <u>Utilização dos Wetlands para Tratamento de Lixiviados</u> .....	36
1.4. <b>Toxicidade</b> .....	41
1.4.1. <u>Análise dos Dados</u> .....	44
1.4.2. <u>Toxicidade nos Lixiviados</u> .....	44
1.5. <b>Legislação</b> .....	45
1.6. <b>O Aterro Metropolitano de Gramacho</b> .....	47
1.6.1. <u>A Estação de Tratamento de Efluentes de Gramacho</u> .....	47
2. <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	50
2.1. <b>Coleta e Preservação das Amostras</b> .....	50
2.2. <b>Método de Análises e Caracterização</b> .....	50
2.3. <b>Montagem e Operação dos Wetlands</b> .....	51

2.4.	<b>Cálculo da Redução de Cargas dos Poluentes</b> .....	57
2.5.	<b>Processamento dos Dados Experimentais</b> .....	57
2.6.	<b>Ensaio de Toxicidade</b> .....	57
2.6.1.	<u>Danio rerio</u> .....	57
2.6.2.	<u>Vibrio fischeri</u> .....	58
3.	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	60
3.1.	<b>Caracterização Físico-química do Lixiviado Bruto e do Efluente do Tratamento Biológico do Aterro Metropolitano de Gramacho</b> .....	60
3.2.	<b>Redução de Poluentes em Termos de Concentração</b> .....	62
3.2.1.	<u>Redução da Concentração de Nitrogênio Amoniacal (N-NH<sub>3</sub>)</u> .....	62
3.2.1.1.	Fatores que Interferem na Redução da Concentração de Nitrogênio Amoniacal.....	66
3.2.2.	<u>Redução da Concentração de Nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</u> .....	68
3.2.3.	<u>Redução de Concentração de Demanda Química de Oxigênio (DQO)</u> .....	70
3.2.4.	<u>Redução de Concentração de Carbono Orgânico Dissolvido (COD)</u> .....	73
3.3.	<b>Redução dos Poluentes em Termos de Carga</b> .....	75
3.3.1.	<u>Redução de Carga de DQO</u> .....	76
3.3.2.	<u>Redução de Carga de Nitrogênio Amoniacal</u> .....	77
3.4.	<b>Ensaio Ecotoxicológicos</b> .....	78
3.4.1.	<u>Resultados dos Ensaio Ecotoxicológicos com o Peixe <i>Danio rerio</i></u> .....	78
3.4.2.	<u>Resultados dos Ensaio Ecotoxicológicos com a Bactéria <i>Vibrio fischeri</i></u> ..	79
3.5.	<b>Resultado do Balanço Hídrico</b> .....	81
4.	<b>CONCLUSÕES</b> .....	86
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	88

**ANEXO A** - Caracterização do lixiviado bruto e do efluente do tratamen-

to biológico feita antes da montagem dos <i>wetlands</i> .....	99
<b>ANEXO B</b> – Resultados da caracterização do efluente do tratamento biológico e dos efluentes dos <i>wetlands</i> , nas fases 1, 2 e 3.....	100