

AValiação DA TOXICIDADE DE PERCOLADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PÓS TRATAMENTO BIOLÓGICO E FOTOCATALÍTICO

Juliana Graciani Carniato ¹; Simoni Micheti Geraldo ²; Núbia Natália de Brito Pelegrini ³; José Euclides Stipp Paterniani ⁴ e Ronaldo Teixeira Pelegrini ⁵

RESUMO

A disposição final de resíduos sólidos urbanos é uma prática que ainda traz sérios impactos ambientais gerando diversos subprodutos poluentes, dentre eles o percolado de aterro sanitário. Os testes de toxicidade são bioensaios utilizados no controle de poluição com a finalidade de determinar as concentrações permissíveis de um agente químico para o desenvolvimento/sobrevivência de determinados organismos vivos. Este trabalho teve como objetivo o estudo da avaliação da toxicidade em amostras de percolado de resíduos sólidos “in natura”, pós tratamento biológico por sistema de filtração lenta e pós tratamento fotocatalítico heterogêneo utilizando TiO₂/UV. A avaliação ecotoxicológica foi realizada através de testes de toxicidade aguda e crônica utilizando como organismos testes: *Daphnias similis* e *Eruca sativa* (rúcula). Em média, a diluição de percolado “in natura”, filtrado e fotocatalisado que mata ou inibe em torno 50% (CE50) das *Daphnias similis* é de 6%, 7% e 6% respectivamente. A média da concentração de efeito não observável (CENO) de percolado “in natura”, filtrado e fotocatalisado para rúcula é de 2%, 1% e 4% respectivamente e a média da concentração de efeito observável (CEO) é de 5%, 3% e 6% respectivamente. Os ensaios de toxicidade apresentaram uma grande aplicabilidade no monitoramento e gerenciamento de percolado de resíduos, demonstrando a alta toxicidade desse efluente para ambientes aquáticos.

Palavras chave: toxicidade; percolado de resíduos sólidos; aterro sanitário.

TOXICITY EVALUATION OF LEACHATE OF SOLID WASTE AFTER BIOLOGICAL AND PHOTOCATALITICAL TREATMENT

ABSTRACT

The final disposition of urban solid wastes is a practice that still causes serious environmental impacts generating several pollutant subproducts, such as the landfill leachate. The toxicity tests are used in the pollution control with the scope of finding the permissive concentrations of a chemical agent for the development survival of particular alive organisms. This work aims the toxicity evaluation study in leachate samples of in natura solid wastes, after biological treatment through slow filtration and after heterogeneous photocatalitical treatment using TiO₂/UV. The ecotoxicological evaluation was executed through accute and chronical toxicity tests using as test organisms: *Daphnias similis* e *Eruca sativa* (arugula). On average, the in natura, filtered and photocatalized leachate dilution that kills or inhibits around 50% (EC50) of the *Daphnias similes* is 6%, 7% and 6% respectively. On average of non observable effect concentration (NOEC) of in natura, filtered and photocatalized leachate for arugula is 2%, 1% and 4% respectively; and on average of observable effect concentration (OEC) is 5%, 3% and 6% respectively. The toxicity tests showed a great usage in the monitoring and management of waste leachate so that presenting the high toxicity of this effluent for aquatic environment.

Key words: toxicity, waste leachate, sanitary landfill.

Trabalho recebido em 10/07/2007 e aceito para publicação em 15/09/2007.

¹ Graduanda de Tecnologia em Saneamento Ambiental do Centro Superior de Educação Tecnológica – CESET - UNICAMP, Rua Paschoal Marmo nº 1888 Jardim Nova Itália Limeira-SP, E-mail: jgc82@hotmail.com;

² Graduanda de Tecnologia em Saneamento Ambiental CESET-UNICAMP, Rua Paschoal Marmo nº 1888 Jardim Nova Itália Limeira-SP, E-mail: simoni_mg@yahoo.com.br;

³ Tecnóloga em Química AgroIndustrial, Aluna de doutorado da Faculdade de Engenharia Agrícola-FEAGRI-UNICAMP, Rua Paschoal Marmo nº 1888 Jardim Nova Itália Limeira-SP, E-mail: núbia.brito@agr.unicamp.br;

⁴ Engenheiro Civil, Prof. Doutor da FEAGRI-UNICAMP, Cidade Universitária Zeferino Vaz, C. P. 6011 CEP:13083-875 Campinas-SP E-mail: pater@agr.unicamp.br;

⁵ Químico, Prof. Doutor do CESET-UNICAMP, Rua Paschoal Marmo nº 1888 Jardim Nova Itália Limeira-SP, E-mail: pelegrini@ceset.unicamp.br.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, uma das grandes preocupações ambientais da sociedade contemporânea está relacionada aos resíduos sólidos gerados pela produção de bens e serviços. Com a intensificação do processo industrial, aliado ao crescimento da população e à conseqüente demanda por bens de consumo, o homem tem produzido quantidades significativas de resíduos sólidos sem base numa política clara e efetiva para sua eliminação, incapaz de não gerar prejuízos a si próprio e ao meio ambiente (LEITE et al., 2004).

Como conseqüência de uma sociedade consumista, a crescente demanda pelo uso da água e a má qualidade de vários mananciais (RODRIGUES et al., 2005), tanto superficiais quanto subterrâneos, têm contribuído para um aumento da escassez de água para o consumo humano, agravada em virtude da desigualdade social, da falta de manejo e usos sustentáveis dos recursos naturais.

De acordo com a OMS (Organização Mundial de Saúde) mais de dois terços da população mundial não possui equipamentos adequados para a disposição de resíduos, sejam eles sólidos ou líquidos. Considera-se que esta situação conduza a um círculo vicioso de doenças e pobreza, cujas conseqüências são os altos custos

ambientais, econômicos e sociais (MARBACH JUNIOR, 1989).

Atualmente, no Brasil, 70% dos resíduos sólidos urbanos gerados são regularmente coletados e destes, 75% são dispostos inadequadamente na forma de lixões. Os principais problemas relacionados ao tratamento de lixiviados de aterros sanitários são: a variabilidade de sua composição e vazão, devido à diversidade do tipo de resíduo disposto, índices pluviométricos locais e tipo de cobertura (REICHERT, 1999).

A disposição de resíduos em aterros sanitários constitui a técnica mais utilizada mundialmente para a remediação de resíduos sólidos. Os resíduos em decomposição sob o solo, juntamente com a água proveniente principalmente da chuva, geram o chorume, o qual percola até a base do aterro e, posteriormente, deverá ser drenado. O percolato é um líquido escuro e com forte odor e que possui alto potencial patogênico e toxicológico. Falhas na impermeabilização do aterro e tratamento ou manejo inadequado do percolato podem comprometer o meio-ambiente local, na medida em que este efluente pode se tornar uma fonte de contaminação hidrogeológica (MORAES & BERTAZZOLI, 2007). Portanto, a correta coleta, destinação e tratamento do percolato se

fazem extremamente necessárias, uma vez que se trata de um líquido altamente tóxico para o meio ambiente, sobretudo para os ambientes aquáticos.

Com o conhecimento da toxicidade é possível controlar a exposição do homem e outros seres a agentes químicos contaminantes, protegendo-os dos riscos potenciais (CETESB, 1986). Além disso, as informações obtidas através dos testes de toxicidade podem ser aplicadas no controle da poluição de um efluente (FONSECA, 1991).

Os testes de toxicidade aquática têm sido cada vez mais utilizados para a determinação de efeitos deletérios em organismos aquáticos, em virtude, principalmente, do potencial risco da transferência de poluentes do ambiente para os organismos e da avaliação da qualidade da água sobre os mesmos.

Os estudos que envolvem esta área podem ser conduzidos através de testes experimentais com metodologias distintas, estabelecidas de acordo com os objetivos que se procuram alcançar nessas avaliações. De maneira geral, durante um teste de toxicidade aguda, avalia-se a mortalidade ou sobrevivência dos organismos, alterações de comportamento (forma de natação, distribuição na coluna d'água, paralisação e letargia) e aspectos biométricos relativos ao ganho de peso e

crescimento dos organismos (FERREIRA, 2007).

A toxicidade crônica corresponde à resposta a um estímulo prolongado ou contínuo, por um longo período de tempo, podendo abranger parte ou todo ciclo de vida do organismo. Por meio desses testes determina-se o potencial tóxico de um agente químico ou de uma mistura complexa, sendo os efeitos desses poluentes mensurados através da resposta de organismos vivos, que reagem de forma diferente para um mesmo composto (SILVA, 2002).

A introdução de bioensaios de toxicidade na rotina do controle de efluentes e percolados de aterros é muito importante para a preservação da qualidade de corpos receptores, assegurando o equilíbrio químico do ambiente, condição indispensável e urgente para preservar a vida na terra (SILVA, 2002).

Desta forma este trabalho teve como objetivo principal o estudo da toxicidade em amostras de percolado de resíduos sólidos "in natura", pós tratamento biológico por sistema de filtração lenta e pós tratamento fotocatalítico heterogêneo utilizando TiO_2/UV verificando concentrações que podem causar efeitos às espécies testes: *Daphnia similis* e *Eruca sativa* durante um determinado período de tempo.

Os efeitos sobre as funções biológicas fundamentais como reprodução, crescimento e morte, afetam diretamente as características dos organismos testes o que os tornam apropriados aos objetivos práticos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do experimento

O presente trabalho foi desenvolvido no aterro sanitário de Limeira, o qual é administrado pela empresa pública EMDEL (Empresa de Desenvolvimento de Limeira S/A), desde abril de 1993 (GUIZARD et al., 2006). O aterro está localizado na Rodovia Tatuibi, s/n, Horto Florestal, a 9 km do centro da cidade de Limeira, tendo por acesso a Rodovia Limeira – Tatuibi. De Brito-Pelegrini et al. (2007), apresentam uma descrição detalhada sobre a caracterização física, química e biológica do percolado em estudo.

Os estudos foram realizados no Centro Superior de Educação Tecnológica da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), onde foram conduzidos os ensaios de toxicidade para avaliar a sensibilidade de organismos testes como *Daphnia similis* e *Eruca sativa*, ao percolado de resíduos sólidos. O experimento foi realizado no período de agosto de 2006 a maio de 2007.

2.2. Agente tóxico utilizado nos testes

Foram realizadas amostragens do percolado “in natura”, após filtração lenta em areia e após tratamento fotocatalítico heterogêneo utilizando (TiO₂/UV). A coleta foi realizada utilizando recipientes plásticos com tampa, os quais foram armazenados a aproximadamente 4°C, ao abrigo de luz, durante a realização dos ensaios.

2.3. Determinação da toxicidade crônica em *Eruca sativa* (rúcula)

A metodologia para o ensaio toxicológico com sementes de rúcula (*Eruca sativa*) foi adaptada de acordo com estudos realizados por De Brito-Pelegrini et al. (2006) e consiste na disposição de quatro camadas de papel toalha numa placa plástica de Petri e, sobre esta, dispostas cinquenta sementes de rúcula. Esta foi umedecida no primeiro dia com 1,5 mL da amostra em questão, nos três dias subsequentes com 1,0 mL, e no quinto dia foi realizada à contagem a fim de se verificar a taxa de germinação das sementes, a inibição do crescimento e os índices CENO (concentração do efeito não observável) e CEO (concentração do efeito observável) causada pelas diferentes concentrações da amostra, por um período de 120 horas.

2.4. Determinação da toxicidade aguda em *Daphnia similis*

Para o ensaio toxicológico com *Daphnia similis* utilizou-se o método segundo norma NBR 12713 (2003). O método consiste na exposição de organismos jovens do gênero *Daphnia* (neonatas com idade entre seis e vinte e quatro horas) a várias diluições da amostra, por um período de 48 horas. Após este período verifica-se o número de organismos imóveis. Em cada diluição são distribuídos cinco organismos teste (*Daphnia similis*), em cada uma das três replicatas. Os recipientes são colocados em bandejas, cobertos com plástico escuro e mantidos em laboratório entre 18 e 22°C. Decorridas 48 horas, os dados de imobilidade obtidos são lançados no

programa Jspcar para determinação da concentração efetiva (CE 50) e depois são realizadas as análises de pH, OD, dureza e condutividade, para verificar a variação destes parâmetros.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o estudo verificou-se a necessidade da utilização de uma água de diluição apropriada, providas de nutrientes NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) em pH 7,2 e utilizando solução tampão de KH_2PO_4 e K_2HPO_4 (Tabela 1).

Os resultados obtidos para a determinação do CENO utilizando *Eruca sativa* (sementes de rúcula) podem ser observados na Figura 1.

Tabela 1. Concentração de nutrientes NPK e micronutrientes em água para *Eruca sativa*.

Elemento químico	Concentração (mg L ⁻¹)
N	28
P	20,7
K	30,5
Ca	30
Mg	0,033
Zn	0,015
Cu	0,06

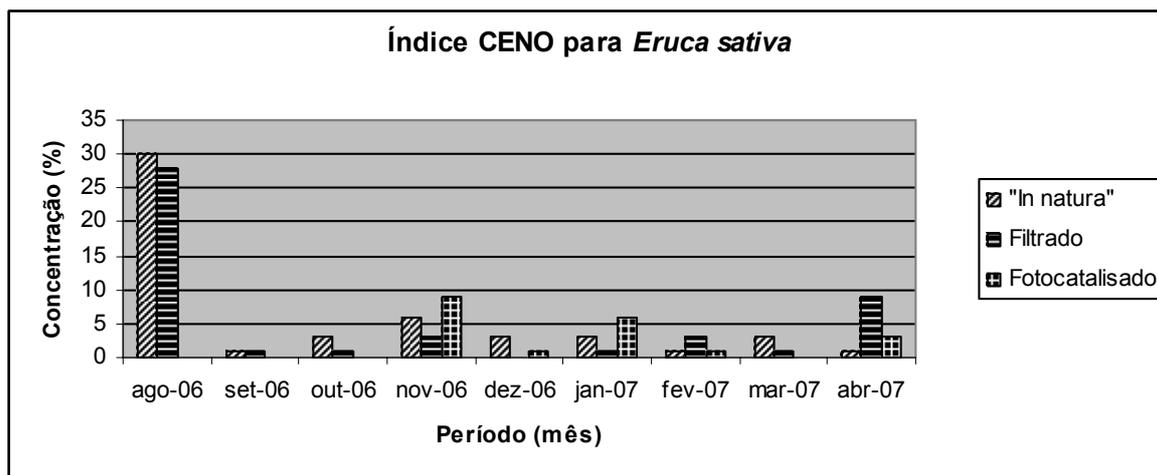


Figura 1. Índice CENO para *Eruca sativa* em percolado “in natura”, percolado filtrado e fotocatalisado, em Limeira – SP, no ano de 2007.

O CENO da amostra de percolado “in natura” se manteve entre a faixa de concentração de 1 a 6% e na amostra de percolado filtrado e fotocatalisado o CENO variou de 1 a 9%. Já o CEO da amostra de percolado “in natura” se manteve entre a faixa de concentração de 3 a 9% e na amostra de percolado filtrado e fotocatalisado o CEO variou de 1 a 12% (Figura 2). Através deste estudo pôde-se verificar que os testes de toxicidade empregando a espécie *Eruca sativa* (rúcula) é um excelente organismo para a avaliação da concentração de efeito não observável (CENO) ou a concentração de efeito observável (CEO) de compostos tóxicos de interesses para o meio ambiente.

O sinergismo dos compostos presentes em percolados: matéria orgânica, ácidos húmicos e fúlvicos, metais pesados,

compostos organohalogenados (AOX), dentre outros, podem ocasionar elevadas toxicidades mesmo após etapas de tratamentos.

Um exemplo disso é que na Nigéria, segundo Aluko & Sridhar (2005), o percolado tem causado doenças em produtores rurais através do desenvolvimento de anomalias, baixo peso no nascimento de crianças, incidências de leucemia e outros tipos de câncer. Percolados de aterros também têm sido suspeitos de causarem distúrbios na reprodução de peixes em lagos na Suécia onde é descartado em afluentes após tratamento biológico (DAVE & NILSSON, 2005). Desta forma o percolado é bem mais agressivo que esgoto e precisa de um tratamento adequado.

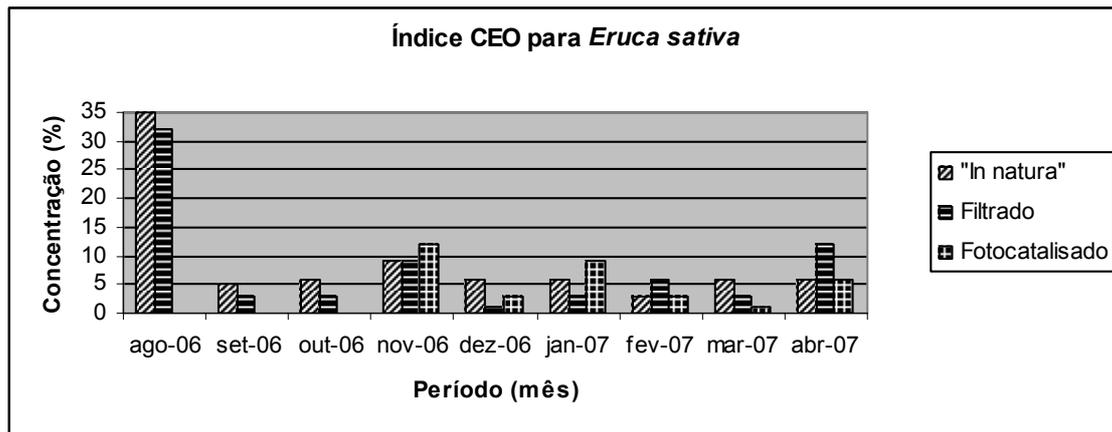


Figura 2. Índice CEO para *Eruca sativa* em percolato “in natura”, percolato filtrado e fotocatalisado, em Limeira – SP, no ano de 2007.

O tratamento de chorume é uma medida de proteção ambiental, de manutenção da estabilidade do aterro e uma forma de garantir uma melhor qualidade de vida para a população local.

Os resultados obtidos para a determinação do CE50 nos testes de toxicidade aguda do percolato com *Daphnias similis* podem ser observados na Figura 3. Os cladóceros, como *Daphnia similis*, são amplamente utilizados na realização de testes, pois são de fácil cultivo, representativos na comunidade zooplânctonica, sensíveis aos agentes tóxicos, possuem certa homogeneidade, estabilidade genética através da reprodução partenogenética e curto ciclo de vida.

De acordo com os resultados obtidos foi possível verificar que as *Daphnias similis* são organismos apropriados para

testes de toxicidade aguda, pois mesmo o percolato sendo um composto de alta variabilidade, permitiu que se encontrassem resultados em todas as amostras e concentrações utilizadas. Para a amostra de percolato “in natura” a concentração efetiva que causa efeito adverso agudo em 50% dos organismos-teste ficou entre 1,63 e 10,43%; para o percolato filtrado o CE50 encontrado ficou entre 4,40 a 10,54% e para a amostra de percolato fotocatalisado o CE50 ficou entre 4,40 a 7,90%

Foi possível verificar também que o percolato, mesmo em pequenas concentrações, pode ocasionar altas porcentagens de inibição para o meio aquático, se lançado aos corpos hídricos, mesmo após etapas de tratamentos.

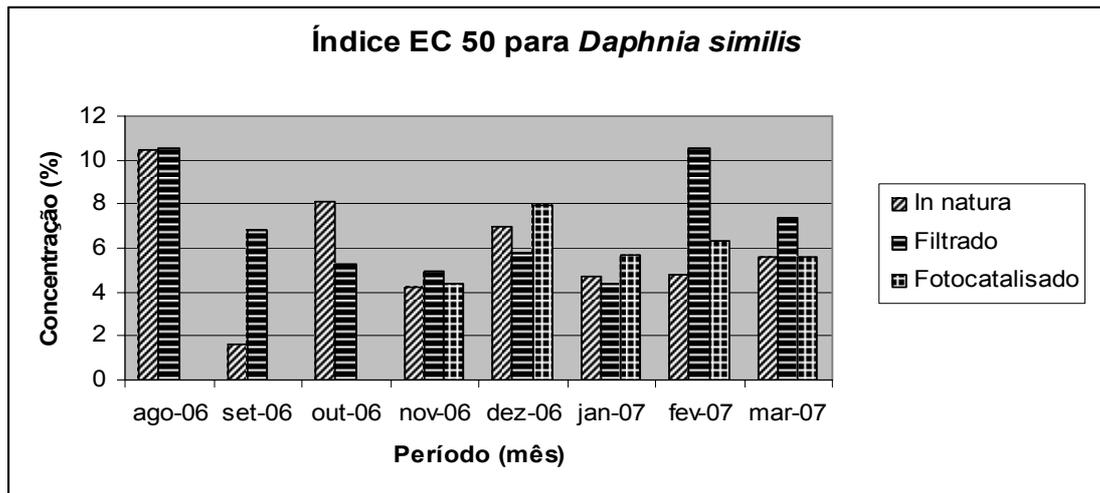


Figura 3. Índice CE50 para *Daphnia similis* em percolato “in natura”, percolato filtrado e fotocatalisado, em Limeira – SP, no ano de 2007.

A presença de uma grande diversidade de substâncias que é comum em efluentes derivados de resíduos sólidos, tornando difícil determinar qual a classe de compostos químicos que contribui mais para a toxicidade. Os impactos provocados por esse tipo de matriz são geralmente ocorrências de uma interação sinérgica entre os vários poluentes presentes.

Os efeitos da toxicidade dos compostos orgânicos aos organismos aquáticos incluem desde mortalidade até hepatotoxicidade, imunotoxicidade, carcinogenicidade e alterações no metabolismo que podem levar as diminuições nas taxas de reprodução, predação e decomposição (ARAUJO et al., 2006).

Dessa forma, de acordo com os dados obtidos, foi possível concluir que os testes toxicológicos utilizando *Eruca sativa* (rúcula) e *Daphnia similis* são métodos práticos, rápidos, de baixo custo e de sensibilidade razoável na identificação qualitativa da presença de substâncias tóxicas, inibidores biológicos no meio aquático ou em efluentes de atividade antrópica capazes de interferir no meio ambiente.

4. CONCLUSÕES

Os organismos testes utilizados para avaliar a toxicidade do percolato “in natura” e tratado responderam a ação dos agentes tóxicos, apresentando-se sensíveis a ação deste composto. Estes ensaios demonstraram uma grande aplicabilidade

no monitoramento e gerenciamento de percolado de resíduos sólidos, demonstrando a alta toxicidade desse resíduo para o meio ambiente, assim como a importância de se trabalhar com diferentes organismos representativos da cadeia trófica, que podem apresentar respostas diferentes frente aos agentes tóxicos.

Com o conhecimento da toxicidade é possível controlar a exposição dos seres vivos a agentes químicos contaminantes, protegendo-os dos riscos potenciais. Além disso, as informações obtidas através destes testes podem ser aplicadas no controle da poluição de efluente.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa Científica – (CNPq) pelas bolsas concedidas.

REFERÊNCIAS

- ALUKO, O. O.; SRIDHAR, M. K. C. Application of constructed wetlands to the treatment of leachates from a municipal solid waste landfill in Ibadan, Nigéria. **Journal of Environmental Health**, v. 80, n.10, p 58-62, 2005.
- ARAÚJO, R. P. A.; BOTTA-PASCHOAL, C. M. R.; SILVERIO, P. F.; ALMEIDA, F. V.; RODRIGUÊS, P. E.; UMBEZEIRO, G. A.; JARDIM, W. F.; MOZETO, A. A. Application of toxicity identification evaluation to sediment in a highly contaminated water reservoir in southeastern Brazil. **Environmental Toxicology and Chemistry**. v. 25, n. 2, p. 581-588, 2006.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL-CETESB. **Desenvolvimento de métodos para o estabelecimento de critérios ecotoxicológicos**: relatório final. São Paulo, 1986.
- DAVE, G.; NILSSON, E. Increased reproductive toxicity of landfill leachate after degradation was caused by nitrite. **Aquatic Toxicology**, V.73, n. 1, p. 11-30, 2005.
- DE BRITO-PELEGRINI, N. N.; PATERNIANI, J. E. S. CARNIATO, J. G.; BOCHI-SILVA, N.; PELEGRINI, R.T. Estudo da Sensibilidade de Sementes de *Eucuca Sativa* (Rúcula) utilizando Substâncias Tóxicas para Agricultura. In Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. 35., Paraíba, **Anais...** Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2006, CD room.
- DE BRITO-PELEGRINI, N. N.; PELEGRINI, R. T.; PATERNIANI, J. E. S. Caracterização física, química e biológica do percolado do aterro sanitário da cidade de Limeira-SP. **Engenharia Ambiental**, v.4, n.1, p. 54-66, 2007. Disponível em <<http://www.unipinhal.edu.br/ojs/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=80&layout=abstract>>, Acesso em 06/09/2007.

- FERREIRA, C.M. **Análises Complementares Obtidas a Partir de Testes de Toxicidade Aquática.** In: Instituto de Pesca - APTA/SAA. Disponível em: http://www.aquicultura.br/analises_complementares.htm- Acesso em 21 de maio de 2007.
- FONSECA, A.L. **A biologia das espécies *Daphnia laevis*, *Ceriodaphnia silvestre* e *Cecília reticulata* e o comportamento destes em testes de toxicidade aquática com efluentes industriais.** Tese de Doutorado. Escola de Engenharia-USP. São Carlos, 1991.
- GUIZARD, J. B. R.; RAFALDINI, M. E.; PONTES, F. F. F.; BRONZEL, D.; PERES, C. R.; FERREIRA, E. R. e REIS, F. A. G. V. Aterro sanitário de Limeira: diagnóstico ambiental. **Engenharia Ambiental**, v.3, n.1, p. 72-81, 2006. Disponível em: <http://www.unipinhal.edu.br/ojs/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=47&layout=abstract>. Acesso em 29 de março de 2007.
- LEITE, C.M.B.; BERNARDES, R.S.; OLIVEIRA, S.A. Método Walkley-Black na determinação da matéria orgânica em solos contaminados por chorume. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.8, n.1, p. 111-115, 2004.
- MARBACH JUNIOR, P.S. **Estudos da Avaliação de Metais Pesados em Percolados de Aterro Sanitário em Função do Tempo de Disposição.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia da Usp. São Carlos, 1989.
- MORAES, P. B.; BERTAZZOLI, R. **Degradação Fotoeletroquímica De Chorume De Lixo Gerado Em Aterros Sanitários.** In: Resumo Tese Pós Doutorado 2005. Disponível em: <http://www.cori.rei.unicamp.br/Brasil/Japao3/Trabalhos2005>- acessado em 21 de maio de 2007.
- NORMAS BRASILEIRAS – NBR 12713. **Ecotoxicologia aquática – toxicidade aguda – Metodo de ensaio com *Daphnia* spp (Cladocera, Crustacea)**, 2003.
- REICHERT, G.A. **A vermicompostagem Aplicada ao Tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1999.
- RODRIGUES, F.S.F.; BILA, D.M.; CAMPOS, J.C.; DEZOTTI, M. **A influência da remoção prévia de amônia no tratamento biológico do chorume ozonizado.** In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. Disponível em: <http://www.cepis.org.pe/bvsacd/abes23/II-315.pdf>
- SILVA, A.C. **Tratamento do percolado de aterro sanitário e Avaliação da toxicidade do efluente bruto e tratado.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.