



PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS

TERMO DE COOPERAÇÃO Nº 03 /10

Processo Administrativo nº 09/10/13241

Interessado: Secretaria Municipal de Serviços Públicos

Considerando a importância Técnica e Ambiental do projeto que promove a preservação do meio ambiente e saúde pública evitando a contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas.

Considerando também que o projeto tem a função de atender toda a legislação ambiental específica, que não vinha sendo cumprida de forma adequada, além de reduzir custos adicionais desembolsados atualmente com transporte e tratamento do material (Chorume do Aterro Sanitário Municipal Delta-A).

RESOLVEM

De um lado o **MUNICÍPIO DE CAMPINAS**, doravante denominado **MUNICÍPIO**, com sede na Avenida Anchieta, 200, Campinas – SP, inscrito no CNPJ/MF sob o nº 51.885.242/0001-40, neste ato representado pelo **Exmo Sr. Prefeito Municipal Dr. HÉLIO DE OLIVEIRA SANTOS**, assistido pelo **Sr. ANTONIO CARIA NETO**, Secretário Municipal de Assuntos Jurídicos; e de outro lado a **UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**, doravante denominada **UNICAMP**, autarquia em regime especial, inscrita no CGC/MF sob nº 46.068.425/0001-33, com sede na Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, Distrito de Barão Geraldo, Campinas, São Paulo, neste ato representada por seu **Magnífico Reitor, Professor Doutor FERNANDO FERREIRA COSTA**, resolvem CELEBRAR O PRESENTE TERMO DE COOPERAÇÃO, COM BASE NOS PRECEITOS DE DIREITO PÚBLICO E DE ACORDO COM O ART. 225 DA CONSTITUIÇÃO FEDERAL, LEI FEDERAL Nº 8.666/93 E DEMAIS DIPLOMAS LEGAIS QUE REGEM A MATÉRIA, CONFORME AS SEGUINTE CLÁUSULAS E CONDIÇÕES:





PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS

PRIMEIRA – DO OBJETO

1.1. O presente Termo tem como objeto a avaliação de um sistema piloto para tratamento de líquido percolado (chorume) de aterro sanitário combinando lodo ativado com membrana de ultrafiltração e osmose reversa.

SEGUNDA – DA FORMA DE EXECUÇÃO

2.1. As atividades objeto do presente Termo de Cooperação serão desenvolvidas conjuntamente pela UNICAMP, através de um grupo de pesquisadores da FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL ARQUITETURA E URBANISMO (FEC), grupo este coordenado pelo Prof. Dr. José Roberto Guimarães e pelo MUNICÍPIO DE CAMPINAS, representado pelo Sr. Marcelo Antonio Cominato, Diretor do Departamento de Limpeza Urbana da Secretaria Municipal de Serviços Públicos.

TERCEIRA - RECURSOS, PAGAMENTO E REAJUSTE

3.1. Os recursos necessários para o cumprimento do objeto ajustado serão solicitados junto a entidades de fomento, oficiais ou privadas, e empresas.

O MUNICÍPIO DE CAMPINAS será responsável por:

- 1 – Construir a base de alvenaria descrita no Plano de Trabalho anexo;
- 2 – Fornecer a energia elétrica e água potável para a realização do Plano de Trabalho anexo.

QUARTA – DOS DIREITOS E DAS OBRIGAÇÕES DAS PARTES

4.1. São direitos das Partícipes:

SMA - Coordenadoria Setorial de Procedimentos Legais - Palácio dos Jequitibás - Avenida Anchieta, 200
Centro – 6º andar – Campinas - SP – CEP 13015-904 - Tel (19) 2116-0403





PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS

- a) Realizar acordos semelhantes com outras entidades, utilizando as informações a que tiver acesso no âmbito do presente Termo de Cooperação, observadas as questões de sigilo e as limitações impostas por direitos autorais e de propriedade;
- b) Examinar os relatórios que porventura forem produzidos no âmbito deste Termo de Cooperação e em seu Plano de Trabalho, contestando-os no prazo máximo de 60 dias úteis, contados a partir da data de seu recebimento, após o qual, não havendo manifestação formal, serão considerados aprovados;
- c) Solicitar apoio a entidades de fomento, oficiais ou privadas, quando necessário ou oportuno, sempre em comum acordo entre as Partícipes, para a sustentação das ações desenvolvidas no âmbito deste Termo de Cooperação.

4.2. São obrigações das Partícipes:

- a) Assegurar a plena execução do objeto deste Termo de Cooperação;
- b) Prover sua parcela de recursos materiais e humanos, na quantidade, qualidade e época previstas no Plano de Trabalho anexo, respondendo por sua remuneração, a qualquer título, contribuições, impostos, taxas e quaisquer outros encargos incidentes;
- c) Facilitar o acesso às suas instalações, informações e documentos, respeitados seus regulamentos internos específicos;
- d) Respeitar e fazer respeitar as restrições à divulgação de informações e as limitações impostas por direitos autorais e de propriedade;
- e) Zelar pela reputação da outra Partícipe, obtendo prévia autorização para utilizar seu nome, marca ou logomarca e respondendo por seu uso indevido;





PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS

f) Propor e supervisionar, em conjunto, todas as atividades técnicas e científicas a serem desenvolvidas no âmbito deste Termo de Cooperação.

QUINTA – DA PROPRIEDADE DOS RESULTADOS

5.1. Todos os dados, informações técnicas e comerciais, tecnologias, microorganismos, programas de computador, procedimentos e rotinas de propriedade das Partícipes e/ou de terceiros, mas sob sua responsabilidade, desde antes da data de assinatura deste Termo de Cooperação, e que forem reveladas a outra Partícipe, somente para subsidiar a execução dos trabalhos objeto deste Termo de Cooperação, continuarão pertencendo ao detentor da informação.

5.1.1. Caso haja interesse no uso de dados, informações técnicas e comerciais, tecnologias, microorganismos, programas de computador, procedimentos e rotinas mencionados acima, com outro propósito que não o explicitado por este Termo de Cooperação, a Partícipe interessada deverá obter a anuência expressa, por escrito, da detentora das mesmas. Desde já, as Partícipes ajustam que tais informações, tecnologias e microorganismos deverão ser liberados, caso a caso, mediante instrumentos contratuais específicos.

5.2. Todos os resultados, metodologias e inovações técnicas obtidos em virtude da execução deste Termo de Cooperação, ainda que indiretamente, passíveis de serem protegidos por Direito de Propriedade Intelectual serão de propriedade da UNICAMP, que arcará integralmente com os custos de depósito e manutenção de eventuais programas e resultados privilegiáveis que forem de seu interesse, no Brasil ou no exterior.

5.3. Inventores ou autores, sejam esses da UNICAMP ou do MUNICÍPIO DE CAMPINAS, individualmente ou em conjunto, terão seus nomes reconhecidos nas





PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS

patentes quando as Partícipes depositarem tais inovações no INPI ou registradas em outra instituição de Direitos de Propriedade Intelectual.

5.4. A UNICAMP garantirá ao MUNICÍPIO DE CAMPINAS a licença plena, gratuita, irrevogável e irrestrita, para seu próprio uso, da sua parte sobre os resultados privilegiáveis decorrentes do presente Termo de Cooperação. Está contida na expressão "seu próprio uso" a faculdade de produzir ou contratar a produção dos Produtos com terceiros para serem utilizados em suas atividades industriais e comerciais.

5.5. Os documentos, relatórios e publicações, decorrentes do presente instrumento, deverão registrar, em destaque, a fonte de origem das informações, podendo as Partícipes utilizar-se deles em benefício próprio.

5.6. Independente do contido no item 5.2 desta Cláusula, fica o resultado protegido pelo direito autoral, e garantidos à UNICAMP os direitos conexos, inclusive quanto a sua participação no uso e exploração econômica sobre o resultado da consecução do objeto deste Termo de Cooperação, respeitada a nomeação do autor.

SEXTA – DA CONFIDENCIALIDADE

6.1. Os Partícipes se comprometem a manter sigilo com relação às informações obtidas no desenvolvimento dos objetivos do presente Termo de Cooperação, sendo vedada, sem autorização por escrito, da UNICAMP e do MUNICÍPIO DE CAMPINAS, sua divulgação a terceiros, dos conhecimentos técnicos e comerciais, programas de computador, tecnologias, biotecnologias, microorganismos, bem como dados operacionais pertencentes ao MUNICÍPIO DE CAMPINAS, desde antes da assinatura deste Termo de Cooperação. Tais informações serão tratadas como "confidenciais", e incidirão sobre elas o tratamento dispensado pelos Decretos nº 1.355/94, Lei nº 9.279/96 e demais legislações em vigor.





PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS

6.2. O descumprimento do pactuado nesta Cláusula ensejará a rescisão deste Termo de Cooperação e o pagamento, à parte inocente, de perdas e danos efetivamente sofridas.

6.3. Exclui-se do vedado nesta Cláusula a divulgação de conhecimentos técnicos que, embora atinentes ao objeto deste de Cooperação, sejam utilizados em cursos regulares de graduação e pós-graduação da UNICAMP.

6.4. As disposições de sigilo constantes desta Cláusula, não se aplicam quando qualquer informação, no todo ou em parte, se enquadrar nos seguintes casos:

- I. As Partícipes, por escrito, anuírem o contrário;
- II. For comprovadamente e de forma legítima do conhecimento das Partícipes em data anterior à assinatura do presente Termo de Cooperação;
- III. Que tenha caído em domínio público antes de sua divulgação, ou mesmo após, desde que não tenha qualquer culpa das Partícipes;
- IV. Que tenha recebido legitimamente de um terceiro que licitamente não estava obrigado a confidencialidade;
- V. Por determinação judicial e/ou governamental para conhecimento das informações, desde que notificada imediatamente a outra Partícipe, previamente à liberação, e sendo requerido segredo no seu trato judicial e/ou administrativo.

6.5. Os Partícipes se comprometem a repassar aos seus servidores e empregados envolvidos no objeto deste Termo de Cooperação, as obrigações de sigilo constantes neste instrumento.





PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS

SÉTIMA – DA DIVULGAÇÃO

7.1. Os Partícipes concordam em submeter, com antecedência, por escrito à aprovação da outra participante, qualquer matéria decorrente da execução do objeto deste Termo de Cooperação a ser eventualmente divulgada através de publicações, relatórios, congressos, propaganda e outros, resguardadas as características de confidencialidade mencionadas neste instrumento.

OITAVA – DA VIGÊNCIA

8.1. O presente Termo vigorará pelo prazo de 12 (doze) meses, a partir da data de sua assinatura, podendo ser prorrogado nos termos da legislação vigente.

NONA – DA DENÚNCIA

9.1. O presente Termo poderá ser denunciado por acordo entre as partes ou, unilateralmente, por qualquer delas, desde que aquela que assim o desejar comunique à outra, por escrito, com antecedência de 30 (trinta) dias.

9.2. Havendo pendências, as partes definirão, mediante Termo de Encerramento da Cooperação as responsabilidades pela conclusão ou encerramento de cada um dos trabalhos, respeitadas as atividades em curso.

9.3. O presente Termo poderá ser rescindido de pleno direito por qualquer das partes, a qualquer tempo, desde que haja descumprimento das obrigações assumidas por uma delas.

DÉCIMA – DO ACOMPANHAMENTO





PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS

10.1. O acompanhamento do presente Termo com vistas ao fiel cumprimento das disposições nele contidas será feito através de representantes da UNICAMP e MUNICÍPIO a serem formalmente designados.

DÉCIMA PRIMEIRA – DO FORO

11.1. Para dirimir quaisquer questões decorrentes da execução desta Cooperação, que não possam ser resolvidas de comum acordo entre os partícipes, fica eleito o foro da Comarca de Campinas- SP, com renúncia de qualquer outro por mais privilegiado que seja.

E por estarem assim justos e de acordo, os partícipes firmam o presente instrumento em 03 (três) vias de igual teor e forma.

Campinas, 19 de Julho de 2010


DR. HÉLIO DE OLIVEIRA SANTOS

Prefeito Municipal


ANTONIO CARIA NETO

Secretário Municipal de Assuntos Jurídicos


FLÁVIO AUGUSTO FERRARI DE SENÇO

Secretário Municipal de Serviços Públicos


UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP

Reitor: Prof. Dr. Fernando Ferreira Costa





UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

Departamento de Saneamento e Ambiente - DSA



PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS

PLANO DE TRABALHO

**“Avaliação de um Sistema Piloto para Tratamento de
Chorume de Aterro Sanitário Combinando Lodo
Ativado com Membrana de Ultrafiltração e Osmose
Reversa”**

Março de 2009



SUMÁRIO

RESUMO	1
1 - INTRODUÇÃO	2
2 - JUSTIFICATIVA	3
3 - OBJETIVO	4
4 - EQUIPE DE EXECUÇÃO DO PROJETO	5
5 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
5.1 - Métodos de Tratamento do Chorume	6
5.2 - Emprego de Membranas	7
5.2.1 - Características das Membranas e Problemas Operacionais	9
5.2.2 - Osmose Reversa	10
6 - MATERIAIS E MÉTODOS	11
6.1 - Geração de Chorume	11
6.2 - Processo de Tratamento	13
6.3 - Desenvolvimento do Projeto Piloto	13
6.3.1 - Lodos Ativados	14
6.3.2 - Sistema de Membranas	15
6.3.3 - Retrolavagem e Limpeza das Membranas	16
6.4 - Coleta de Amostras e Análises Laboratoriais	16
7 - CRONOGRAMA	18
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
ANEXOS	

ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.



RESUMO

Esta pesquisa avaliará um sistema piloto para tratar o chorume do aterro Delta A, localizado na cidade de Campinas, Estado de São Paulo, composto pela associação de um reator de lodo ativado com um conjunto de membranas de ultrafiltração e osmose reversa. O reator de lodo ativado tratará $0,25 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ do líquido lixiviado e será operado de forma contínua empregando-se oxigênio puro para aeração, objetivando a minimização do seu volume devido a restrição do espaço disponível para a construção. Esse reator será avaliado quanto ao funcionamento adotando-se três diferentes idades de lodo: 20, 30 e 40 dias. Todo o licor misto gerado será encaminhado para um conjunto de membranas de ultrafiltração, estudando-se seu desempenho ao empregarem-se diferentes velocidades tangenciais ($2,0 \text{ ms}^{-1}$, $2,8 \text{ ms}^{-1}$ e $3,6 \text{ ms}^{-1}$), sendo que o permeado produzido ainda passará por um sistema de osmose reversa, buscando a complementação da purificação. Em ambas as membranas serão avaliadas também diferentes metodologias para a retrolavagem e a limpeza química. Esta seqüência de processos busca a obtenção de um efluente final adequado ao reúso agrícola, possibilitando seu emprego em cultura de eucaliptos ou grama, a serem plantadas em área de revegetação. O sistema será avaliado com a análise semanal das amostras coletadas quanto a parâmetros físicos, químicos e biológicos, conforme os procedimentos da APHA *et al.* (2005).

Palavras-chave: chorume, lodo ativado, ultrafiltração, osmose reversa, reúso.

1 - INTRODUÇÃO

Após a Revolução Industrial o ser humano ampliou sua capacidade de produção de bens de consumo, aumentando consideravelmente o volume e a diversidade dos resíduos gerados. Em paralelo, o crescimento do número de habitantes no planeta fez com que a inadequada disposição desses resíduos contribuisse para acentuar a poluição do solo, da atmosfera e da água.

No Brasil, 21% do material descartado é inadequadamente direcionado para os lixões, enquanto que os aterros controlados recebem 37%. Nesse último caso, como aspecto positivo, tem-se à impermeabilização do solo, porém os gases e líquidos produzidos não recebem qualquer tratamento (IBGE, 2003).

A forma mais adequada de disposição, os aterros sanitários, recebe somente cerca de 36% do resíduo sólido gerado, existindo no Brasil uma problemática nesse tipo de destinação, visto que o tratamento do chorume produzido ainda é incipiente. Para Castilho Junior (2006), tem-se como agravante que os poucos sistemas de tratamento implantados em nosso país apresentam desempenho pífio, pois as instalações foram dimensionadas de acordo com parâmetros definidos para o tratamento de esgotos domésticos, cuja composição e biodegradabilidade diferenciam muito do lixiviado de aterros.

Deste modo, há a necessidade da realização de pesquisas buscando o desenvolvimento de novas tecnologias que possam contribuir para a resolução dessa problemática, atendendo tanto os aterros sanitários públicos como aqueles operados pela iniciativa privada, que na atualidade estão carentes de alternativas para a destinação adequada dos resíduos gerados em suas atividades.



2 - JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa possibilitará estudar em escala piloto o tratamento de uma parcela significativa do chorume gerado no aterro sanitário Delta A, localizado na cidade de Campinas, Estado de São Paulo. Ela também traz como um aspecto de extremo interesse o emprego de um conjunto de processos operados de forma diferenciada em relação aos sistemas tradicionais, demonstrando seu ineditismo. Isso ocorre devido ao pequeno espaço existente na área de instalação, demandando o emprego de um reator de lodo ativado aerado com oxigênio puro e a complementação do tratamento com membrana de ultrafiltração e osmose reversa, tendo-se em vista a possível adoção do efluente purificado na prática de reúso em irrigação.

Outro item a ser ressaltado refere-se ao fato de que os resultados deste trabalho darão importantes subsídios quanto aos parâmetros empregados no planejamento e projeto de estações de tratamento de líquidos lixiviados de aterros, área bastante precária e carente de pesquisas no Brasil. Nesse ponto cabe expor que devido às restrições das legislações ambientais aliadas a maior atuação dos órgãos de fiscalização passa a haver a necessidade da ampliação do número de alternativas a serem adotadas para resolver tal problema.

3 - OBJETIVO

Esta pesquisa buscará estudar a viabilidade do emprego da combinação de um reator de leito ativado associado a um sistema de membranas filtrantes para o tratamento de parte do chorume gerado no aterro sanitário Delta A, localizado na cidade de Campinas, Estado de São Paulo.

Especificamente será avaliado:

- A operação de um reator de lodo ativado com o emprego de oxigênio puro na aeração;
- O emprego de diferentes idades de lodo no reator de lodo ativado (20, 30 e 40 dias);
- O emprego de diferentes velocidades tangenciais na membrana de ultrafiltração ($2,0 \text{ ms}^{-1}$, $2,8 \text{ ms}^{-1}$ e $3,6 \text{ ms}^{-1}$);
- A capacidade do processo de osmose reversa na remoção de sais, tendo-se em vista a adequação do efluente final ao emprego no reúso agrícola;
- A retrolavagem e a limpeza química das membranas com solução ácida e básica.

A
f



4 - EQUIPE DE EXECUÇÃO DO PROJETO

Neste projeto, além do aluno de pós-doutorado e do supervisor e de alunos de iniciação científica, também haverá a colaboração do Prof. Dr. Pedro Sergio Fadini (Pontifícia Universidade Católica de Campinas), Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho (UNICAMP), Prof. Dr. Roberto Feijó de Figueiredo (UNICAMP) e Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti (UNICAMP).

Essa equipe de professores atua na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, possuindo amplo conhecimento e publicações na área de tratamento de efluentes, saneamento ambiental e reúso de efluentes.



5 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A NBR 10.004 (1987) nomeia como resíduos sólidos os materiais resultantes da atividade industrial, doméstica, hospitalar e comercial, dividindo-os em duas classes distintas. Na Classe 1 estão aqueles considerados perigosos, na Classe 2 os não perigosos, sendo esta última subdividida em: 2A não inertes e 2B inertes. Cano e Brandão (2002) afirmam que o Estado de São Paulo gera anualmente 535 mil toneladas de resíduos de Classe 1 e 25 milhões de toneladas daqueles caracterizados como de Classe 2.

Para o processamento desses materiais, um dos métodos mais adequados seria o acondicionamento em aterro sanitário, fundamentado em critérios de engenharia e em normas que possibilitem um confinamento seguro, havendo a impermeabilização do fundo e das laterais, além da compactação, cobertura da área superficial e do tratamento de gases e do chorume (NBR 8.419, 1984).

O chorume corresponde ao líquido gerado no processo de degradação e lixiviação da massa de resíduos presente no aterro. Sua composição é extremamente variável, dependendo de fatores que vão desde as condições pluviométricas e ambientais, idade do aterro, propriedades do próprio resíduo disposto e do material empregado no recobrimento (MARNIE *et al.*, 2005).

5.1 - Métodos de Tratamento do Chorume

No tratamento do líquido lixiviado pode-se adotar um sistema de lagoas de estabilização, caracterizado pela simplicidade e custo baixo, sendo indicado para as condições brasileiras devido ao clima favorável e a pequena mecanização, porém, demanda uma grande área para instalação (SERAFIM *et al.*, 2003).

Utilizam-se também os métodos físico-químicos tradicionais, tais como coagulação, floculação e filtração, enquanto outros autores citam a adoção dos Processos Oxidativos Avançados (POA), os quais degradariam e mineralizariam a matéria poluente. Este processo ainda poderia ser utilizado como tratamento inicial, beneficiando a biodegradação nas etapas seguintes, sendo mais indicado quando o chorume é originário de aterros antigos, possuindo compostos resistentes à degradação microbiológica (MORAIS, 2005).

Alternativamente, o líquido lixiviado poderia ser encaminhado para Estações de Tratamento de Esgotos. No entanto, esta prática deve ser cuidadosamente avaliada, pois sua composição pode prejudicar a comunidade bacteriana presente na estação (SILVA *et al*, 2004). Para Qasim e Chiang (1994) o sistema de lodos ativados ainda é o mais adequado, tendo grande eficiência no tratamento do líquido lixiviado de aterros, porém deve-se ter muita atenção quanto aos valores dos parâmetros adotados no dimensionamento dos reatores.

5.2 - Emprego de Membranas

Desde 1974, no Japão e Estados Unidos da América emprega-se o tratamento biológico associado com membrana filtrante para purificar a água residuária, possibilitando uma alta eficiência na obtenção de efluente dentro dos padrões ambientais. Sua viabilidade é comprovada pela constatação de que somente no Japão existem cerca de 900 estações com este tipo de combinação (YANG *et al*, 2006).

Nesse processo o licor misto do tanque de aeração é continuamente bombeado para um conjunto de membranas, mantendo em sua parede uma velocidade de 2 a 5 ms⁻¹ e pressões que oscilam entre 280 e 400 kPa. Segundo Galil (2003) como se aplica todo o líquido do reator de lodo ativado, torna-se desnecessária a formação de flocos para serem removidos no decantador, retirando-se esta operação



unitária do processo de tratamento. Deste modo, caso ocorra a formação de um grande número de bactérias filamentosas não acarretaria o problema do intumescimento do lodo (*bulking*), visto que seu funcionamento independe da sedimentabilidade.

No reator biológico mantém-se uma alta concentração de sólidos suspensos voláteis, superior a 11.000 mgL^{-1} , garantindo um intenso processo de degradação com alto tempo de retenção celular. Este fator possibilita a nitrificação com tempo de detenção de aproximadamente 3 horas, permitindo a instalação de sistemas compactos, chegando a reduzir-se o volume do tanque de aeração em 50% quando comparado aos sistemas tradicionais (TILL, 2001).

As membranas filtrantes podem ser operadas mesmo que o licor misto do lodo ativado possua concentração de sólidos suspensos superior a 30.000 mgL^{-1} , não havendo a necessidade de sua decantação (TILL, 2001). Por sua vez, Yamamoto *et al.* (1984) afirmam que valores superiores a 40.000 mgL^{-1} levam a um dramático decréscimo da eficiência do sistema.

Pode-se ampliar a remoção de bactérias patogênicas empregando-se a ultrafiltração ou a microfiltração, obtendo-se também um efluente com turbidez inferior a 0,2 NTU e concentrações de sólidos suspensos que não chegam a 3 mgL^{-1} . Estes fatores associados a remoção de matéria orgânica e compostos nitrogenados, possibilita aproveitá-lo em práticas de reúso. (GALIL, 2003).

Na Ilha de Magnetic (Austrália) empregou-se este tipo de sistema para o tratamento de 540 m^3 de esgotos por dia. A carga diária de DBO de entrada era de 135 Kg e a de nitrogênio de 24,4 Kg. Após a purificação obteve-se um efluente com concentração de sólidos suspensos e DBO inferior a 5 mgL^{-1} , nitrogênio total abaixo de 3 mgL^{-1} , fósforo total igual a $0,1 \text{ mgL}^{-1}$ e densidade de coliformes totais inferior a 5 NMP.100 mL^{-1} (COPPEN, 2004).

Hall *et al.* (1995) afirmam que no emprego de um sistema de lodos ativados associado com membranas na depuração de lixiviados de aterros tem-se uma grande eficiência de tratamento, produzindo um efluente com alta qualidade, que atende os padrões legais mais restritivos. Neste sentido, segundo Viana (2004), os possíveis picos de carga orgânica e de toxicidade não trariam grandes impactos ao processo devido à elevada concentração de lodo no tanque de aeração. As macromoléculas também poderiam ser mais facilmente degradadas, visto que existiriam maiores densidades de microrganismos e um contato por mais tempo com a biomassa.

Na atualidade, o desenvolvimento dessa tecnologia proporcionou a instalação das membranas no próprio reator biológico, sendo o efluente retirado por meio da sucção do interior dos tubos onde estão presas. Assim, a aeração do reator disponibilizaria o oxigênio para os processos bioquímicos e também a mistura da biomassa, além de garantir que as bolhas façam a limpeza da parede da membrana (YANG *et al.*, 2006).

5.2.1 - Características das Membranas e Problemas Operacionais

A microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e a osmose reversa são métodos que se diferenciam basicamente pelo tamanho médio dos poros das membranas filtrantes, implicando na necessidade de aplicação de diferentes faixas de pressão operacional para acelerar o processo de filtração (YANG *et al.*, 2006).

Na microfiltração utilizam-se pressões entre 0,2 a 2,0 bar e separam-se moléculas entre 0,08 μm a 2,0 μm , na ultrafiltração as pressões oscilam entre 2,0 a 7,0 bar, retendo-se macromoléculas ou partículas com diâmetro de 0,005 μm a 0,2 μm . Para a osmose reversa utilizam-se pressões maiores que 20 bar, atuando-se em partículas superiores a 0,001 μm . Neste último caso chega-se a remover até mesmo os sais dissolvidos (GEKAS *et al.*, 1998).



No tocante a operação, após o início do funcionamento ocorre a diminuição da taxa de filtração, ocasionada pela polarização da concentração e pela colmatação. Ambos os problemas são devido à presença de espécies no fluido de alimentação que não podem passar para o permeado. No primeiro caso, os compostos acumulam-se na parede da membrana, especialmente devido à precipitação de macromoléculas, enquanto que no segundo atingem seu interior. Essas obstruções diminuem o fluxo do permeado e aumentam a resistência à transferência de massa (GEKAS *et al.*, 1998).

Para recuperar o fluxo, adota-se a retrolavagem e limpezas periódicas. A retrolavagem consiste em bombear o permeado em sentido inverso ao da filtração por um curto intervalo de tempo, em geral até 2 minutos. Por sua vez, a limpeza periódica visa restaurar o fluxo permeado a valores próximos ao inicial, podendo ser realizada com surfatantes e soluções ácidas ou básicas (METZGER *et al.*, 2007).

5.2.2 - Osmose Reversa

Quando se deseja aplicar o efluente de um sistema de tratamento na área agrícola para irrigação de alguma cultura, acaba demandando-se o uso da osmose reversa, a qual possui a capacidade de remover até mesmo os sais solúveis, que poderiam acarretar a salinização e a sodificação do solo.

Como exemplo desta prática, tem-se que García-Figueruelo *et al.* (2007) estudaram o tratamento de um efluente secundário, que possuía condutividade de $1853 \mu\text{Scm}^{-1}$ e concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) de 99mgL^{-1} e de sódio igual a 182mgL^{-1} . Após a passagem por um sistema de osmose reversa, que operava com pressão de 7,1 bar e porosidade de $40 \mu\text{m}$, os autores obtiveram um líquido purificado com condutividade de $78,3 \mu\text{Scm}^{-1}$ e concentrações de COD de $7,0 \text{mgL}^{-1}$. Quanto aos valores de sódio, não superavam $12,2 \text{mgL}^{-1}$, adequando o efluente tratado à irrigação.



6 - MATERIAIS E MÉTODOS

Este projeto será desenvolvido em uma área localizada no aterro sanitário Delta A, situado na cidade de Campinas, Estado de São Paulo, mais precisamente na Região Centro Oeste, entre os bairros Ipaussurama e Fazendinha.

Na construção do aterro sanitário, exposto na Figura 5.1, empregou-se uma impermeabilização com manta de polietileno de alta densidade (PEAD 2 mm) e sistema de drenagem de líquidos percolados com manta geotêxtil, brita e tubos de PEAD. Também há um sistema de captação da emissão de gases, drenagem de águas pluviais e poços de monitoramento das águas superficiais e subterrâneas.

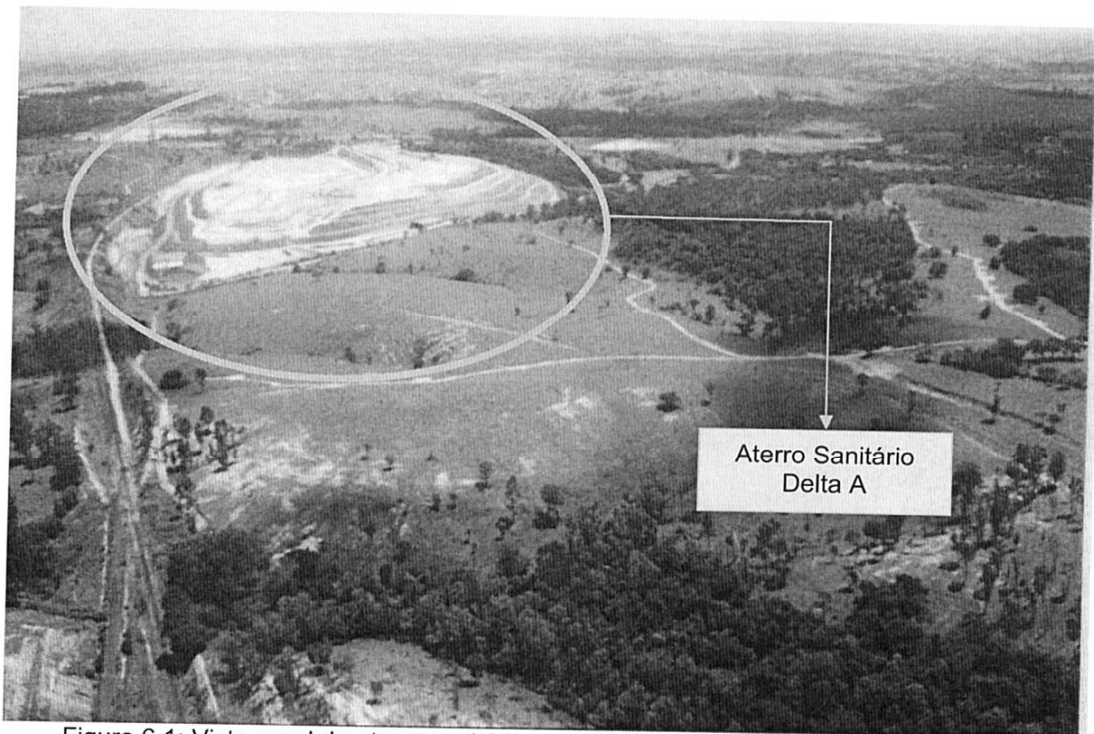


Figura 6.1: Vista geral do aterro sanitário onde será instalado o projeto de pesquisa

6.1 - Geração de Chorume

O receptor de resíduos foi instalado em 1996, produzindo em média 200 m³ de chorume por dia. A partir desse dado, a Prefeitura Municipal de Campinas iniciou no

ano de 2008 um estudo com os pesquisadores da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP buscando o desenvolvimento de uma tecnologia capaz de realizar o tratamento do chorume da empresa. Deste modo, tendo-se em vista o levantamento das alternativas tecnológicas, primeiramente fez-se a caracterização do líquido lixiviado, realizando-se coletas diárias compostas e simples, obtendo-se como resultados iniciais os valores apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 6.1: Valores médios para alguns parâmetros analisados no líquido lixiviado gerado no aterro sanitário Delta A

Parâmetro	Concentração (mgL ⁻¹)	Parâmetro	Concentração (mgL ⁻¹)
pH	7,97 ± 0,31	Cromo	0,751 ± 0,017
DBO	1727 ± 720	Mercúrio	0,00009 ± 0,00005
DQO	4180 ± 1558	Zinco	0,706 ± 0,022
Cádmio	0,010 ± 0,002	Chumbo	0,020 ± 0,001
Cobre	0,048 ± 0,002	Sulfato	100 ± 72

Avaliando-se a área de instalação do aterro, constatou-se que o corpo receptor de água mais próximo era de Classe Especial, onde, de acordo com a CONAMA 357 (2005) deverão ser mantidas as condições naturais. Impedindo assim o descarte do efluente, mesmo que tratado.

Como a empresa possui em seu terreno um cinturão verde para revegetação, vislumbrou-se a possibilidade de se realizar o tratamento do efluente até o ponto em que fosse permitido seu emprego na prática de reúso agrícola, possibilitando a irrigação de uma plantação de eucalipto ou grama. Nesse caso, o processo de purificação deve ser extremamente eficiente e gerador de uma água residuária tratada com alto padrão de qualidade, tendo baixas concentrações de sais, principalmente sódio. Somente atendendo a esses requisitos seria garantida a não ocorrência do aumento da salinidade e sodicidade do solo, além do não comprometimento da qualidade da água subterrânea.



Deste modo, o efluente deve atender a Instrução Técnica número 31 (CETESB, 2006), na qual são descritos os procedimentos que disciplinam a aplicação de água de reúso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura. Nela exige-se, por exemplo, que a condutividade elétrica do efluente final esteja abaixo de $2,9 \text{ dSm}^{-1}$ (25°C), buscando limitar o risco de salinização do solo, e a razão de adsorção de sódio (RAS) máxima permitida deverá ser de 12, para restringir o risco de sodificação. Também podem ser citadas as concentrações limites de alguns metais, tais como: sódio (69 mgL^{-1}), alumínio ($5,0 \text{ mgL}^{-1}$), bário ($5,0 \text{ mgL}^{-1}$), cádmio ($0,01 \text{ mgL}^{-1}$), chumbo ($0,5 \text{ mgL}^{-1}$), cromo (0,2) e mercúrio ($0,01 \text{ mgL}^{-1}$), além de densidade de ovos de helmintos e de coliformes termotolerantes inferiores, respectivamente, a 0,1 ovo por litro e $200 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$.

6.2 - Processo de Tratamento

Como a área disponível para a instalação de um sistema de tratamento era pequena, por meio de pesquisas na literatura especializada, encontrou-se que o método mais adequado para a purificação do chorume poderia ser a combinação do processo de lodo ativado de fluxo contínuo com membrana de ultrafiltração e osmose reversa.

6.3 - Desenvolvimento do Projeto Piloto

No aterro são gerados 200 m^3 por dia de líquido lixiviado, sendo que todo esse volume é direcionado a dois tanques de armazenamento para, posteriormente, ser enviado até o local da disposição final com o emprego de caminhões.

Nesta pesquisa, será inicialmente tratado um volume de $0,25 \text{ m}^3$ por dia desse chorume, sendo que para isso o líquido será bombeado a partir do tanque de armazenamento até o tanque de aeração por meio de tubulações de PVC com



diâmetro de 32 mm de PVC, conforme pode ser visualizado no esquema apresentado na Figura 5.2

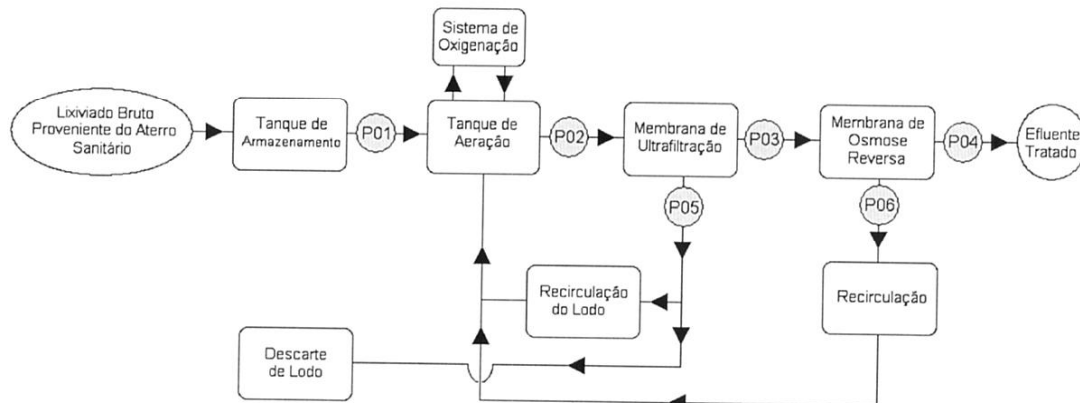


Figura 6.2: Esquema do tratamento do líquido lixiviado e pontos de coleta das amostras

6.3.1 - Lodos Ativos

O tanque de aeração será construído em fibra de vidro e possuirá um volume total de 15 m^3 , com 3,1 m de altura e 2,5 m para o diâmetro da base. A aeração empregada será com oxigênio puro, sendo adotado o sistema de difusão apresentado na Figura 5.3, no qual uma bomba captará o líquido da parte inferior do reator e possibilitará, por meio de um Tubo Venturi, a entrada do gás oriundo de um cilindro com volume total de $3,0 \text{ m}^3$. O líquido oxigenado retornará ao reator passando por um sistema de dispersão, o qual permite uma melhor distribuição e mistura do recirculado.

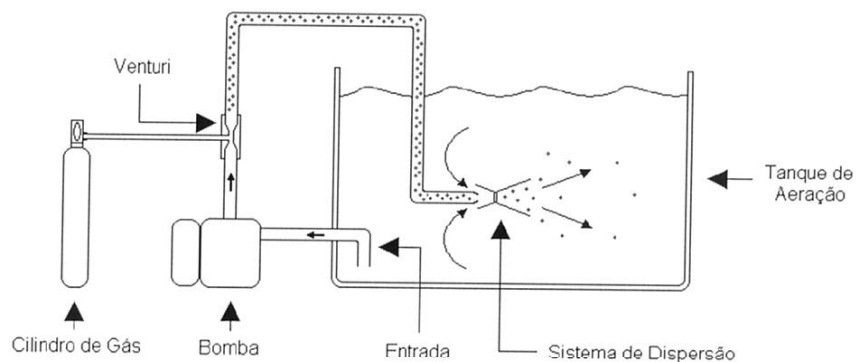


Figura 6.3: Esquema do sistema de aeração com oxigênio puro



Será empregado oxigênio puro tendo-se em vista a diminuição do volume do tanque ao mínimo possível, além de possibilitar a geração de bolhas de tamanho suficiente para a adequada oxigenação de todo o meio. Caso fosse utilizado ar comprimido haveria a necessidade de um tanque com maior dimensão e também existiria a possibilidade de produção de bolhas grandes, incapazes de transferir o oxigênio demandado pelo processo biológico.

No período de operação do reator de lodo ativado serão estudadas as seguintes idades de lodo: 20, 30 e 40 dias. Os aspectos operacionais do sistema serão avaliados por um período de 2 meses em cada uma dessas idades de lodo, permitindo encontrar os parâmetros operacionais mais adequados para o funcionamento no restante do estudo.

Como conseqüência, analisar-se-á também: a concentração de oxigênio dissolvido no reator, a vazão de oxigênio puro, a eficiência do Ejetor Estático na oxigenação, a vazão de recirculação do licor misto e as características do lodo descartado e recirculado.

6.3.2 - Sistema de Membranas

De acordo com o esquema da Figura 5.2, o licor misto formado no tanque de oxigenação será continuamente bombeado para um conjunto de membranas de ultrafiltração, as quais possuirão uma área unitária de $0,67 \text{ m}^2$, com corte molecular de 100.000 Dalton. O líquido que adentrará sua estrutura estará submetido por meio de uma bomba a pressões superiores a 0,6 bar.

Nesta etapa serão avaliadas velocidades tangenciais nas ultrafiltração de: $2,0 \text{ ms}^{-1}$, $2,8 \text{ ms}^{-1}$ e $3,6 \text{ ms}^{-1}$, possibilitando-se estudar a vazão de permeado gerado e também sua qualidade, além dos problemas relacionados a colmatação.



O licor concentrado que não atravessar a membrana retornará ao tanque de aeração, enquanto que o permeado proveniente da ultrafiltração será direcionado ao sistema de osmose reversa. Este sistema será constituído por membranas em poliamida enrolada em espiral, com rejeição ao NaCl de 99,5% e pressão mínima de trabalho de 8,6 bar. Nesta etapa também buscar-se-á a determinação da mais adequada velocidade tangencial a ser empregada, tendo-se em vista a geração de um efluente que atenda aos padrões propostos pela CETESB quanto a concentração de sódio para aplicação de água residuária no solo, na forma de irrigação agrícola.

Tendo em vista um adequado controle do processo de tratamento, serão posicionados medidores de vazão antes da entrada do efluente no reator de lodo ativado e após os sistemas de membrana de ultrafiltração e de osmose reversa.

6.3.3 - Retrolavagem e Limpeza das Membranas

As membranas passarão por retrolavagens periódica, inicialmente por quinze segundos a cada cinco minutos. Também será avaliada a limpeza alcalina com hipoclorito de cálcio empregando-se uma solução com concentração de 0,2% e a limpeza ácida com ácido nítrico (3%). Ao final do processo de limpeza os valores serão comparados com os obtidos com a passagem de água deionizada, conforme procedimento empregado por Vidal (2006).

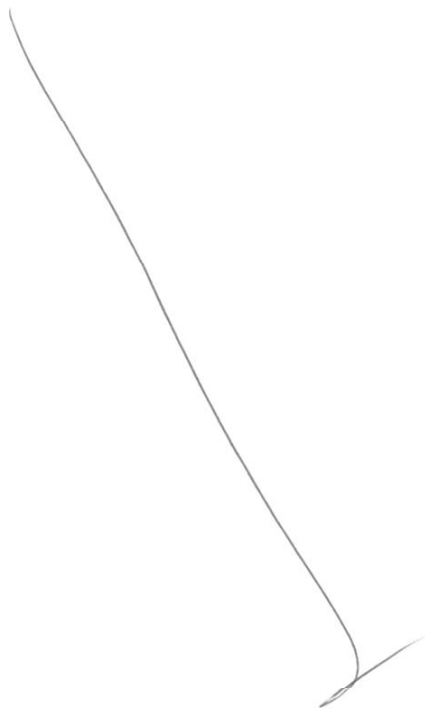
6.4 - Coleta de Amostras e Análises Laboratoriais

As seguintes amostras serão coletadas semanalmente a partir do processo em estudo: líquido lixiviado bruto (P01), licor misto do processo de lodo ativado (P02), permeado da membrana de ultrafiltração (P03), licor concentrado da membrana de ultrafiltração (P05), permeado da osmose reversa (P04) e líquido concentrado da osmose reversa (P06). Serão analisados: pH, temperatura, condutividade, oxigênio



dissolvido, turbidez, alcalinidade, demanda química de oxigênio, carbono orgânico total, fósforo, sólidos suspensos, *Escherichia coli*, compostos nitrogenados, toxicidade e metais (sódio, cálcio, magnésio, cromo, cádmio, níquel, zinco, cobre e chumbo). Na Figura 5.2 está exposto o esquema do sistema com os pontos de coleta.

As análises serão realizadas no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP e estarão baseadas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA *et al.* 2005). Para os compostos nitrogenados (nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato) será adotada a técnica FIA (Flow Injection Analysis), conforme exposto por Faria e Pasquini (1991). Quanto a toxicidade será empregado o teste de toxicidade aguda com *Daphnia similis*, de acordo com a Norma L5.018 (CETESB, 1991). A avaliação estatística dos dados será feita por meio do programa Bioestat (AYERES *et al.*, 2003).



7 - CRONOGRAMA

Atividade	Mês da Execução											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Construção do projeto	X											
Partida dos reatores	X											
Idade de lodo de 20 dias		X	X									
Idade de lodo de 30 dias				X	X							
Idade de lodo de 40 dias						X	X					
Idade mais adequada de lodo								X	X	X	X	X
Ultrafiltração com velocidade tangencial de 2,0 ms ⁻¹								X	X			
Ultrafiltração com velocidade tangencial de 2,8 ms ⁻¹									X	X		
Ultrafiltração com velocidade tangencial de 3,6 ms ⁻¹										X	X	
Osiose Reversa								X	X	X	X	X
Coleta de amostras		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Análise das amostras		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Análise dos dados			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Revisão bibliográfica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Produção Bibliográfica*										X	X	X
Relatório Fapesp											X	X

* Todas as empresas envolvidas na pesquisa não imporão limitações a publicações dos dados gerados no presente trabalho.

Devido ao investimento inerente a construção desse projeto piloto associado a possibilidade de sua instalação em escala real, vislumbra-se a ampliação dos estudos envolvidos nesta pesquisa. Assim, em uma segunda etapa poderá ser aprofundada a avaliação de diferentes parâmetros operacionais, assim como o emprego de diferentes membranas e aspectos relativos a sua retrolavagem e limpeza. Além do acompanhamento da irrigação das culturas de eucalipto ou grama.



8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA/AWWA/WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19ª edição. Nova Iorque: American Public Health Association, 2005.
- AYERES, M.; AYRES JR, M.; SANTOS, A. S. Bioestat 3.0, Aplicações Estatísticas nas Áreas das Ciências Biológicas e Médicas. Sociedade Civil Mamirauá, Brasília CNPq, 2003.
- CANO, W.; BRANDÃO, C. A. A Região Metropolitana de Campinas. Urbanização, Economia, Finanças e meio ambiente. Campinas, UNICAMP. 2002.
- CASTILHO JUNIOR, A. B. Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários.
- CETESB. Instrução técnica nº 31. Aplicação de água de reúso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura. São Paulo. 2006.
- CETESB. L5.018. Água – Teste de toxicidade aguda com *Daphnia similis*. 1991.
- CONAMA. Resolução número 357. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Ministério do Meio Ambiente. 2005.
- COPPEN, J. *Advanced wastewater treatment systems*. University of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveying 2004
- FARIA, L. C. e PASQUINI, C. *Flow-injection determination of inorganic forms of nitrogen by gas diffusion and conductimetry*. *Analytica Chimica Acta*, v. 245, p. 183-190, 1991.
- GALIL, N.I. Membrane bioreactors for final treatment of wastewater. *Water Science and Technology*, Vol. 48, nº. 8, pp. 103-110, 2003.
- GEKAS, V.; BARALLA, G.; FLORES, V. Aplicaciones de la tecnología de membranas en la industria alimentaria. *Food Science and Technology International*. v. 4 (5), p. 311-328, 1998.
- MARNIE, L. W.; BITTON, G. e TOWNSEND, T. Heavy metal binding capacity (HMBC) of municipal solid waste landfill leachates. *Chemosphere*, 60: (2) 206-215. 2005.
- NBR 8.419. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Procedimentos. Rio de Janeiro. 1992.
- NBR 10.004. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Classificação de resíduos sólidos: procedimento. Rio de Janeiro. 1987.
- GARCÍA-FIGUERUELO, C.; MONTAG, B.; BES-PIÁ, A. Study of the behavior of a reverse osmosis membrane for wastewater reclamation. *Desalination*, no 222, pp. 243-248. 2008.
- QASIM, S.R., CHIANG, W., 1994. *Sanitary Landfill Leachate- Generation, Control and Treatment*. Technomic Publishing Co., Inc. Pennsylvania, USA: ISBN: 1-56-676129-8.
- SERAFIM, A. C.; GUSSAKOV, K. C.; SILVA, F. Impactos ambientais e possibilidades de tratamento. In: III Fórum de Estudos Contábeis (área ambiental), Rio Claro, 2003.
- METZGER, U.; LE-CLECH, P.; STUETZ, R. M. Characterisation of polymeric fouling in membrane bioreactors. *Journal of Membrane Science*, no 301, pp. 180-189. 2007.
- MORAIS, P. B. Aplicação de processo eletrolítico em efluente de refinaria de petróleo e efluente simulado utilizando eletrodos de titânio e eletrodo de ferro fundido. Dissertação de Mestrado, UNESP, 2000.
- SILVA, K. S. da. Avaliação de processo de industrialização de caldo de cana de açúcar (*Sacharum ssp*) por enchimento a quente e sistema asséptico. Campinas. UNICAMP/FEA. Tese de Mestrado, 111p., 2004.
- TILL, S. Membrane Bioreactors: Wastewater treatment Applications to achieve high quality effluent. www.wioa.org.au/conference_papers/2001/pdf/paper1.pdf. Acessado em julho de 2008.
- VIANA, P. Z. Biorreator com membrana aplicado ao tratamento de esgotos domésticos: avaliação do desempenho de módulos de membranas com circulação externa. Dissertação de mestrado, COPPE/UFRJ. 2004.
- VIDAL, C. M. S. Avaliação da microfiltração tangencial como alternativa de tratamento avançado de efluente gerado em sistema de tratamento de esgoto sanitário constituído de reator UASB. Tese de doutorado, EESC/USP. 2006.
- YAMAMOTO, K., HISSA, M., MAHMOOD, T., MATSUO, T., 1989. Direct Solid Liquid Separation Using Hollow Fiber Membrane in an Activated Sludge Aeration Tank. *Water Science and Technology*, 21: 43-54.
- YANG, W.; CICEK, N.; ILG, J. State-of-the-art of membrane bioreactors: Worldwide research and commercial applications in North America. *Journal of Membrane Science*, no 270, pp. 201-211. 2006.

