



Avaliação da tratabilidade de efluentes de indústria metalúrgica em sistema piloto com plantas aquáticas emergentes

Alexandre Juliano Golfetto¹, Nádia Teresinha Schröder²

¹Curso de Engenharia Ambiental/ ULBRA (alexandre.golfetto@gmail.com)

²Curso de Engenharia Ambiental / ULBRA (nadia.schroder@gmail.com)

Resumo

O tratamento de efluentes industriais pode ser composto por diversas etapas. Os sistemas de alagados construídos (*wetlands*) com Plantas Aquáticas Emergentes - PAE são geralmente empregados na etapa de tratamento terciário a fim de se realizar o polimento e a retirada de alguns contaminantes como Nitrogênio, Fósforo, Sólidos Suspensos e metais. Dentre as vantagens associadas ao sistema estão o baixo custo de operação, baixo consumo energético e facilidade de operação. Este estudo objetivou analisar e calcular a eficiência de um sistema piloto com PAE com Fluxo Sub-Superficial em fluxo vertical com efluente de indústria metalúrgica e efetuar o monitoramento. Foram utilizadas quatro espécies de PAE - Espadana (*Zizaniopsis bonariensis*) Junco (*Scirpus sp*), Taboa (*Tipha latifolia*) e Papiro (*Cyperus sp*) dispostas em tanques preenchidos com brita de diferentes granulometrias. O monitoramento foi dividido em Fase I e Fase II em um período que compreendeu os meses de maio a junho e agosto a setembro, respectivamente. Os resultados obtidos evidenciaram eficiência de remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Fósforo Total, Nitrogênio Total Kjeldhal e Sólidos Suspensos Totais. Destaca-se a eficiência deste último que chegou a 75,9% na Fase II do trabalho. Os metais como o Alumínio, Ferro Total, Zinco, Chumbo e Cromo Total presentes devido ao processo de galvanização na empresa foram removidos em boas quantidades via tratamento pelo sistema PAE, destacando-se os dois últimos que apresentaram eficiência de 100% na comparação efluente bruto com efluente tratado.

Palavras-chave: Plantas Aquáticas Emergentes. Indústria Metalúrgica. Efluentes Líquidos.

Área Temática: Tecnologia Ambiental

Abstract

*The treatment of industrial wastewater can be comprised of several steps. Constructed wetlands systems (*wetlands*) with Emerging Aquatic Plants – PAE are usually used in tertiary treatment step in order to carry out polishing and removal of some contaminants such as nitrogen, phosphorus, suspended solids and metals. Among the advantages associated with the system are the low cost of operation, low power consumption and ease of operation. This study aimed, to analyze and estimate the efficiency of a pilot system with PAE with Sub-Surface Flow in vertical flow with effluent from metallurgical industry and make monitoring. We used four species of PAE – Espadana (*Zizaniopsis bonariensis*) Rush (*Scirpus sp*), Taboo (*Tipha latifolia*) and Papyrus (*Cyperus sp*) placed in tanks filled with gravel of different sizes. The monitoring was divided into Phase I and Phase II in a period that lasts from May to June and from August to September, respectively. The results showed removal efficiency of Biochemical Oxygen Demand, (BOD) Chemical Oxygen Demand (COD), Total Phosphorus, Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) and Suspended Solids Totals. The efficiency of the latter which reached 75.9% in Phase II work. Metals like aluminum, total iron, zinc, lead and total chromium present due to the electroplating process in the company in good quantities were removed via treatment with PAE system, especially the last two that showed 100% efficiency in comparison raw effluent with treated effluent.*

Key words: Emerging Aquatic Plants. Metallurgical Industry. Liquid Effluents.

Theme Area: Environmental Technology



1 Introdução

Os *wetlands* têm sido usados como sistema de tratamento de efluentes. USEPA (2000c) define o termo como uma área alagada construída especificamente para o controle da poluição em um local que não o de um banhado natural. No Brasil, Souza et al. (2000) avaliaram o desempenho de sistemas *wetlands* utilizados no pós-tratamento de efluente de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB). Gerber (2002) e Schulz (2009) avaliaram a tratabilidade de efluentes da parboilização do arroz em sistema de plantas aquáticas emergentes. Cunha (2006) analisou a eficiência de um sistema combinado de alagados construídos na melhoria da qualidade de águas no Parque Ecológico do Tietê, SP. Leitão Jr, et.al (2007) utilizaram macrófitas aquáticas no tratamento de efluentes de frigoríficos.

Os espécimes mais utilizados em sistemas *wetlands* construídos são o *Phragmites* sp, a Taboa (*Typha* sp) e os Juncos (*Scirpus* sp). Dependendo das condições climáticas e da própria vegetação da região, outras espécies de macrófitas podem ser utilizadas (GERBER, 2002), No Rio Grande do Sul, por exemplo, uma planta emergente geralmente encontrada em banhados naturais é a Espadana (*Zizaniopsis bonariensis*), que também é empregada nos estudos que envolvem macrófitas para o tratamento de efluentes industriais.

Em *wetlands* com sistema de Fluxo Sub-Superficial (FSS), o efluente circula através de uma matriz porosa de areia grossa ou brita, na qual estão presentes as raízes das plantas aquáticas. (USEPA, 2000b). Neste sistema as plantas têm duas funções importantes, fornecer oxigênio para os micro-organismos na rizosfera e aumentar e estabilizar a condutividade hidráulica (SALATI, 2000).

O interesse pelos *wetlands* deve-se por ser um sistema que necessita baixa demanda energética e menor uso de processos químicos. Este estudo objetiva avaliar a tratabilidade do efluente de indústria metalúrgica com sistema piloto de Plantas Aquáticas Emergentes (PAE) na busca da melhoria da qualidade do efluente tratado a fim de possibilitar o reuso da totalidade dos efluentes na empresa em projetos futuros.

2 Metodologia

O sistema piloto de plantas aquáticas emergentes foi instalado em uma área próxima às lagoas de tratamento de efluentes líquidos de uma indústria metalúrgica da região metropolitana do estado do Rio Grande do Sul.

A indústria metalúrgica possui duas correntes de efluentes líquidos, uma de efluente ácido e outra de efluente industrial e que são tratadas separadamente na Central de Tratamento de Efluentes Líquidos – CETEL. O efluente ácido é proveniente de uma área de galvanização de metais. Os seus principais contaminantes são: chumbo, zinco e cromo hexavalente. O efluente industrial oriundo de processos de purga de fundo e transbordos de piscinas de torres de resfriamento e retrolavagem de filtros de areia que compõem o sistema de água direta (águas que entram em contato direto com o produto ou passam em sistemas de refrigeração como trocadores de calor, por exemplo). Os principais contaminantes deste efluente são óxidos de ferro e eventualmente óleo. Ambos efluentes são encaminhados à Lagoa de Segurança que possui uma capacidade de 1.430 m³ e destina-se a armazenar o efluente final da CETEL.

A montagem do sistema piloto foi realizada com cinco tanques plásticos (1m³ cada) preenchidos com 4 m³ de brita de granulometria 0 e 1 m³ de brita 1 formando a camada suporte. Os tanques foram colocados sob bases metálicas feitas de aço (1m² cada) com 20 cm de diferença de nível entre as mesmas permitindo assim o escoamento pela gravidade. Além disso, foram instalados 15 m de tubulação PVC (50 mm) formando a rede para o efluente passar de um tanque a outro em fluxo contínuo.

O sistema piloto foi montado obedecendo a seguinte ordem:



3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012

- 1) Entrada do efluente - tanque 1: brita 1: espécie *Zizaniopsis bonariensis* (Espadana);
- 2) Tanque 2: brita 0: espécie *Scirpus* sp (Junco);
- 3) Tanque 3: brita 0: espécie *Scirpus* sp (Junco);
- 4) Tanque 4: brita 0: espécie *Tipha latifolia* (Taboa);
- 5) Saída do efluente – tanque 5: brita 0: espécie *Cyperus* sp (Papiro)

O primeiro tanque (da direita na Figura 1) foi preenchido com 60 cm de brita 1 por ter maior potencial de retenção de sólidos e para evitar transbordos em caso de entupimento da tubulação. Nos demais tanques utilizou-se camada de 80 cm de brita 0.

Figura 1 – Sistema PAE piloto estruturado no local



Uma bomba peristáltica com vazão máxima de 160 L/h foi instalada próxima a saída da Lagoa de Segurança, local este definido como o ponto de captação do efluente para o envio ao sistema PAE. A vazão estipulada para o piloto e ajustada na bomba foi de 50 L/h, equivalente a 1,2 m³/dia de efluente. O piloto caracterizou-se por possuir alimentação feita em Sistema de Fluxo Vertical.

Os parâmetros a serem monitorados foram os que constam na Licença de Operação da empresa. As amostragens (simples) e as análises foram realizadas em duas fases:

Fase I: início do monitoramento em maio até junho de 2011. Foram realizadas quatro coletas para o parâmetro DQO (regime semanal) e duas coletas (regime quinzenal) para os parâmetros DBO₅, Sólidos Suspensos Totais (SST), Fósforo total, Nitrogênio Total Kjeldhal (NTK), Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênios Orgânicos, Óleos e Graxas Minerais nos seis pontos de amostragem (Efluente Bruto, Saídas dos Tanques, Efluente Tratado)

Fase II: de agosto até o final de setembro de 2011. Foram realizadas quatro coletas de efluentes (entrada e saída do sistema), totalizando dois pontos de amostragem em regime quinzenal para todos os parâmetros analisados na Fase I somado a análise dos metais: Alumínio, Ferro, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo Total, Mercúrio, Níquel e Zinco, além do Índice de Fenóis. Diariamente, no turno da manhã, foram medidos o pH e a temperatura do efluente bruto e do tratado. Para as medições foram utilizados um peagâmetro e um Termômetro Digital.

O efluente do sistema piloto PAE foi analisado pelo laboratório Laborquímica – Bioagri Ambiental, cadastrado na FEPAM sob o nº 0010/2010. Os métodos utilizados foram 5220 B, 2540 D, 4500 D, 4500 NH₃ B e C, 5530 C, 3120 B, 5520 B do Standart Methods (APHA, 2005).



3 Resultados e Discussão

No mês de maio houve um declínio no crescimento da biomassa das PAE ocasionando a secagem das folhas. Houve necessidade da retirada destas para impedir que a palha se depositasse na superfície da camada suporte e pudesse influenciar os resultados das análises, sobretudo o parâmetro de SST. Este procedimento inibiu a consolidação das invasoras nos tanques. Tanto a poda das PAE, quanto a retirada das palhas visaram propiciar à planta a oportunidade de desenvolver novos brotos a partir das sementes que caem no tanque em função do vento e do manuseio da vegetação nos monitoramentos. Observou-se após três meses, no início de setembro, o crescimento dos propágulos dando um novo aspecto, sobretudo no 4º tanque. O fato vem comprovar que a atividade metabólica das macrófitas é modificada para um ritmo mais acelerado de crescimento a partir da chegada da primavera para climas subtropicais.

Os resultados das análises dos parâmetros da Fase I (maio a junho de 2011) podem ser comparados aos padrões de emissão estabelecidos na Resolução CONSEMA nº 128/2006 e na LO da empresa na Tabela 3. Pode-se observar que todos os parâmetros, nos seis pontos de coleta de efluente, encontram-se dentro dos limites estabelecidos na Licença de Operação.

Tabela 3 – Média dos resultados das análises da Fase I do monitoramento comparada com a LO

Parâmetros	Unidades	Efluente Bruto	Tanque 1	Tanque 2	Tanque 3	Tanque 4	Efluente Tratado	Limite da LO
DBO	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	54,00
DQO	mg/L	13,20	13,20	21,50	9,90	19,30	10,30	180,00
Fósforo Total	mg/L	0,11	0,30	0,08	0,06	0,18	ND	1,00
Nitrogênio Total Kjeldhal	mg/L	1,76	0,65	1,35	1,10	2,25	1,10	10,00
Nitrogênio Orgânico	mg/L	1,48	0,63	1,25	0,87	2,22	1,10	-
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,28	0,02	0,10	0,23	0,03	ND	-
Sólidos Suspensos	mg/L	6,50	3,50	23,00	26,00	24,50	3,50	63,00
Óleos e Graxas Minerais	mg/L	1,50	2,00	0,50	1,00	2,00	2,00	10,00
pH		7,00	-	-	-	-	6,70	6,0 a 9,0
Temperatura	°C	19,10	-	-	-	-	17,3	< 40,00

A DQO em concentrações menores decorre da baixa presença de compostos passíveis de oxidação ou de moléculas solúveis na corrente que alimenta o sistema. Observou-se um aumento da DQO nos pontos Tanque 2 e Tanque 4 na comparação com o Efluente Bruto, possivelmente devido a instabilidade do sistema, pela aclimatação do efluente que alimenta.

Quanto à eficiência de remoção obteve-se a redução em 23% para a DQO. Sezerino (2006) obteve remoção de 49% de DQO utilizando um filtro com macrófitas em estudo feito com efluente doméstico, em sistema de tratamento prévio por lagoa anaeróbia e lagoas facultativas.

Quanto aos níveis de Nitrogênio, verificou-se 23% de remoção para NTK, 24,7% para Nitrogênio Orgânico e 100% para Nitrogênio Amoniacal. Cooper (1993) afirma que o processo de remoção de Nitrogênio, pelas macrófitas, podem ser resumidos em nitrificação, desnitrificação, volatilização da amônia e absorção pelas plantas. A nitrificação em um sistema de plantas aquáticas enraizadas ocorre na coluna d'água e na rizosfera. Na falta de O₂, microorganismos facultativos anaeróbios usam nitrato como receptor de elétrons durante a respiração. A desnitrificação pode ocorrer potencialmente na camada suporte, na coluna de água isenta de O₂ e no lado anóxico da rizosfera. A rizosfera aeróbia favorece a nitrificação, enquanto que a zona anaeróbia favorece a desnitrificação.



A baixa concentração de fósforo no efluente bruto, na entrada do Sistema PAE, é justificada pela natureza do processo. A remoção total do fósforo pode ser atribuída à imobilização nas camadas suportes, bem como pela absorção e assimilação das macrófitas e microbiota na fase de crescimento (CUNHA, 2006).

A eficiência de remoção de SST foi de 46%. Sezerino (2006) obteve resultados semelhantes, 49% de eficiência na remoção de SST, em estudo com efluente doméstico. Segundo USEPA (2000c) a remoção de SST ocorre através da sedimentação, filtração pelas raízes das macrófitas e assimilação pela microbiota, adsorção ao substrato e oxidação pelos microorganismos. O aumento evidenciado nos pontos de saída do tanque 1, 2 e 3 pode ter sido influenciado pela amostragem, ao movimentar a tubulação durante o processo. Esta movimentação pode ter acarretado na lixiviação de sólidos residuais depositados na tubulação para dentro do frasco de amostragem influenciando nos resultados.

As concentrações de Óleos e Graxas Minererais nos dois últimos pontos de amostragem, indicam uma possível presença de compostos residuais oleosos. O fato pode ser explicado pelo eventual acúmulo de resíduos de óleo e graxa, não eliminados nas etapas anteriores, que se depositaram sobre a camada filtrante sendo então carregados até a saída do sistema.

A temperatura registrada, no efluente tratado, foi 9,4% mais baixa do que no efluente bruto e pode ser justificada pelo FSS vertical do efluente no sistema sem lâmina d'água aparente e coberta por biomassa, impedindo a incidência direta do sol e reduzindo a temperatura ao longo do tratamento.

Os resultados das análises da Fase II (agosto a setembro de 2011) podem ser visualizados e comparados aos padrões estabelecidos na resolução CONSEMA nº 128/2006 e na LO da empresa na Tabela 4. Observa-se que a totalidade dos parâmetros apresenta resultados bastante aquém dos limites da LO.

As razões para as baixas concentrações de DBO no efluente já na entrada do sistema piloto foram abordadas nas análises da Fase I deste estudo e concentram-se, sobretudo, na natureza inorgânica do efluente. A remoção da concentração da DBO foi de 77%. Gerber (2002), em estudo com plantas emergentes para o tratamento de efluentes da indústria de arroz parboilizado, obteve resultados semelhantes (52,2% a 94,6%). A variabilidade do percentual de remoção de DBO em comparação com a Fase I pode ser explicada pelo pouco tempo de operação do sistema, uma vez que, de acordo com Cooper (1993), o equilíbrio e a máxima eficiência de remoção são alcançados após três anos de operação.

Em relação ao DQO, observa-se uma remoção de 49,3% o que indica a atuação das plantas emergentes no tratamento de elementos passíveis de oxidação, moléculas solúveis, as quais influenciam na concentração do parâmetro em efluentes industriais. Segundo USEPA (2000c) em estudo realizado com efluente doméstico, a remoção foi de aproximadamente 45%, evidenciando uma eficiência similar no tratamento de efluentes de naturezas completamente distintas.

Em relação ao Fósforo Total observou-se que o efluente não possui característica eutrofizante para o corpo receptor. A eficiência de remoção na fase II foi baixa (16%), devido a possível saturação dos tecidos das PAE. Para Cunha (2006) a vegetação funciona como um armazenamento temporário de nutrientes durante a estação de crescimento, onde grandes quantidades de nutrientes são absorvidas pelo sistema radicular. Se a vegetação não é colhida, a maioria destes nutrientes acaba retornando ao sistema quando as plantas entram em decomposição.



Com relação ao NTK constatou-se uma remoção de 33,8%. Já o Nitrogênio Orgânico e o Nitrogênio Amoniacal apresentaram uma redução de 44,1% e 55,6%, respectivamente. A remoção do Nitrogênio deu-se em função da capacidade das macrófitas absorverem e metabolizarem o nutriente, bem como a poda realizada no início do monitoramento.

Quanto aos SST verificou-se uma remoção de 76%. A presença de uma menor concentração de sólidos na saída do piloto pode ser justificada pela sedimentação realizada pela camada suporte e evidenciada ao longo do monitoramento. As partículas sólidas aderiam à brita utilizada como substrato e o efluente na saída apresentava um aspecto mais clarificado.

Para Óleos e Graxas Mineraiis verificou-se uma diferença de 0,75 mg/L entre a concentração afluyente e efluente do piloto, o que representa cerca de 42,9% de eficiência na remoção. Grandes concentrações de compostos contendo Óleos e Graxas Mineraiis podem afetar seriamente a estabilidade de um sistema *wetland*, pois ao se depositarem na camada do substrato e podem ser prejudiciais aos microorganismos presentes próximo a rizosfera.

Tabela 4 - Média dos resultados das análises dos parâmetros físico-químicos da Fase II

Parâmetros	Unidades	Efluente Bruto	Efluente Tratado	Padrão de Emissão da LO
pH	pH	7,14	6,85	6,0 a 9,0
Temperatura	°C	22,00	20,80	< 40
DBO	mg/L	10,85	2,40	54,00
DQO	mg/L	36,00	18,25	180,00
Fósforo Total	mg/L	0,06	0,05	1,00
Nitrogênio Total Kjeldhal	mg/L	1,93	1,28	10,00
Nitrogênio Orgânico	mg/L	1,48	0,83	-
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,45	0,20	-
Sólidos Suspensos	mg/L	13,50	3,25	63,00
Óleos e Graxas Mineraiis	mg/L	1,75	1,00	10,00
Índice de Fenóis	mg/L	0,01	0,00	0,10
Alumínio	mg/L	0,67	0,27	10,00
Ferro Total	mg/L	1,27	1,21	10,00
Cádmio	mg/L	0,00	0,00	0,08
Chumbo	mg/L	0,03	0,00	0,16
Cobre	mg/L	0,00	0,00	0,40
Cromo Total	mg/L	0,04	0,00	0,40
Merúrio	mg/L	0,000	0,000	0,009
Níquel	mg/L	0,00	0,00	1,00
Zinco	mg/L	0,27	0,09	2,00

Em relação aos resultados para Índice de Fenóis, as médias de concentração foram muito superiores na corrente de afluyente em comparação com o efluente tratado. A eficiência do sistema foi de 64,8%. Cunha (2006) obteve uma eficiência de 28,5% em sua pesquisa. Leitão et al. (2007) afirmam que os fenóis podem ser retirados pelas partículas argilosas do solo e pela degradação microbiana por bactérias do gênero *Pseudomonas*.

A eficiência na remoção do Alumínio foi de 59,3%. Para USEPA (2000c), a remoção de metais ocorre devido a sua associação às partículas sólidas e a alta eficiência de separação destes elementos pelo sistema PAE levando a imobilização destes compostos.

O ferro é o metal mais presente em termos de concentração na corrente que alimenta o sistema piloto, pelas características da matéria-prima processada pela empresa e pelo processo produtivo em si, justificando a concentração de 1,67 mg/L de Ferro Total no efluente bruto. Na saída verificou-se uma remoção de apenas 4,7% (1,21mg/L).

O Zinco e o Chumbo do efluente analisado provêm das águas residuárias do processo de galvanização. O Zinco atua, em baixas quantidades, como um elemento importante para o crescimento das PAE. A eficiência de remoção de Zinco de 66,7% é justificável. Segundo



USEPA (2000b) a eficiência de remoção de Zinco obtida para efluente doméstico foi de 97%. Já o Chumbo apresentou uma remoção de 100% na comparação entre a entrada e saída do *wetland*. Cunha (2006) obteve concentrações de Chumbo na saída do sistema que variaram de 0,0104 mg/L a 0,0148 mg/L em alagados construídos com macrófitas em sistema combinado. De acordo com USEPA (2000c) a remoção do Chumbo ocorre devido aos processos de adsorção, formação de complexos com a matéria orgânica, precipitação na forma de hidróxidos e sulfetos, co-precipitação com hidróxidos de ferro, manganês, carbonato de cálcio e retenção por parte da vegetação dos hidróxidos de metal formados.

A concentração de Cromo Total nas amostras foi de 0,04 mg/L na corrente alimentada, e na saída a concentração foi nula, gerando uma eficiência de 100%. Para Cunha (2006) este resultado pode ser explicado, pois o Cromo é um dos metais importantes para o crescimento da vegetação em baixas concentrações, constituindo-se em um micronutriente (traço). É provável que a quantidade de Cromo que entrou no sistema tenha sido assimilada pelas macrófitas durante a etapa de desenvolvimento mais acelerado, final de agosto e durante o mês de setembro, período em que foram realizados os monitoramentos. Por outro lado, concentrações elevadas de Cromo, no sistema, podem causar toxidez às PAE, por isso devem-se controlar minuciosamente as cargas poluidoras.

Os metais Cádmio, Cobre, Mercúrio e Níquel apresentaram concentrações abaixo dos limites de detecção de laboratório já na entrada do piloto não sendo possível calcular a eficiência de remoção pelo sistema.

O pH manteve média de 7,14 na alimentação e 6,85 na saída. Esta ligeira acidificação do efluente, segundo Sezerino (2006), deve-se as substâncias geradas, dentro de uma área alagada, pelo crescimento, morte e decomposição, sendo fontes naturais de acidificação. A temperatura manteve-se em 22 °C para o efluente bruto e 20,8 °C para o efluente tratado. As temperaturas máximas e mínimas registradas no período de análises não são limitantes à decomposição da matéria orgânica nem aos processos de ciclagem de nutrientes.

5 Conclusão

A aplicação do sistema PAE no tratamento de efluentes da indústria metalúrgica pode ser usado como uma alternativa tecnológica sustentável. Isto se verifica pelas baixas concentrações dos parâmetros na saída do sistema que permitem as empresas vislumbrarem a possibilidade de reuso dos seus efluentes em processos que não demandem águas de qualidade superior.

Com relação aos parâmetros analisados cabe destacar a eficiência de remoção da DBO, DQO, Fósforo Total (sobretudo na Fase I), NTK e SST que chegou a 75,9% na Fase II. Óleos e Graxas Minerais, na Fase I, apresentou uma pequena elevação que pode ser justificado pelo acúmulo de componentes oleosos na camada suporte pela não remoção destes compostos nas etapas anteriores do tratamento.

O Índice de Fenóis, importante de ser monitorado em virtude do seu potencial de impacto na fauna aquática, apresentou eficiência de 64,8% o que indica o desenvolvimento de microorganismos capazes de realizar a degradação de compostos fenólicos.

Os metais Alumínio, Ferro Total, Zinco, Chumbo e Cromo Total presentes devido aos processos produtivos foram removidos via tratamento pelo sistema PAE, destacando-se o Chumbo e Cromo Total que apresentaram eficiência de 100%. Cabe ressaltar que, na saída do sistema, nenhuma concentração apresentou-se próxima dos limites de emissão da LO.

Referências

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington, D. C.: American Public Health Association, 2005.



CONSELHO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE – CONSEMA. **Resolução nº 128, de 24 de Novembro de 2006.** Dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul.

COOPER, P. F. The Use of Reed Bed Systems to Treat Domestic Sewage: The European Design and Operations Guidelines for Reed Bed Treatment Systems. **In:** MOSHIRI, G. A. Constructed Wetlands for Water Quality Improvement. Florida, USA: Lewis Publishers, 1993.

CUNHA, Caroline de Andrade Gomes da. **Análise da eficiência de um sistema combinado de alagados construídos na melhoria da qualidade das águas.** 2006. 174 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

GERBER, Michel David. **Tratabilidade de efluentes da parboilização de arroz em sistemas com plantas aquáticas emergentes.** 2002. 41 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2002.

LEITÃO JR, A. M.; SOARES, D. Z.; GUIMARÃES, A. A.; BIANCHI, J.L.; REZENDE, L.D. OLIVERIA, G. M. de. Sistema de tratamento alternativo de efluentes utilizando macrófitas aquáticas: um estudo de caso do tratamento de efluentes frigoríficos. **Revista Caminhos da Geografia**, Vol 8, Nº 23. 2007.

SALATI, E. **Controle de qualidade de água através de wetlands construídos.** Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro, 2000. 19 p.

SEZERINO, Pablo Heleno. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (*constructed wetlands*) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical.** 2006. 171 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

SCHULZ, Guilherme. **Sistema de tratamento de efluentes com plantas aquáticas emergentes (PAE) para o processo de parboilização do arroz.** 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Energia, Ambiente e Materiais, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2009.

SOUZA, J.T. de; VAN HAANDEL, A. C.; COSENTINO, P. R. da S.; GUIMARÃES, A. V. A. Pós- tratamento de efluente de reator uasb utilizando sistemas *wetlands* construídos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V. 4, n. 1, 2000. p. 87-91.

USEPA - U.S.Environmental Protection Agency.Humedales de flujo subsuperficial. **Folleto Informativo de Tecnología de Águas Residuales.** Office of Water, Washington D.C., Septiembre, 2000b. 10 p.

USEPA - U.S.Environmental Protection Agency. **Manual - Constructed wetlands treatment of municipal wastewaters.** Office of Research and Development Cincinnati, Ohio, 2000c. 166p.