

# PLANTAS AQUÁTICAS SECAS: UMA ALTERNATIVA MODERNA PARA REMOÇÃO DE METAIS PESADOS DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

OK  
CRISTINA ALFAMA COSTA ✓

Mestre em Engenharia/UFRGS - Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental - DEMIN - PPGEM - UFRGS  
calcosta@vortex.ufrgs.br

OK  
IVO ANDRÉ H. SCHNEIDER ✓

Doutor em Engenharia/UFRGS - Professor da Faculdade de Engenharia e Arquitetura  
Universidade de Passo Fundo - RS - ivoandre@upf.tche.br

OK  
JORGE RUBIO ✓

PhD, DIC. - Professor do Departamento de Engenharia de Minas - Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental  
DEMIN - PPGEM - UFRGS  
jrubio@vortex.ufrgs.br - <http://www.lapes.ufrgs.br/Laboratorios/lm/lm.html>

## RESUMO

O presente trabalho mostra o potencial de aplicação da biomassa seca e morta de plantas aquáticas na remoção de metais pesados de efluentes industriais. Dados referentes às características dos tecidos vegetais das espécies *Potamogeton lucens*, *Salvinia* sp. e *Eichhornia crassipes* e como ocorre a interação com os metais são apresentados. Adicionalmente, os resultados obtidos no tratamento de um efluente de galvanoplastia em uma coluna de percolação em escala piloto preenchida com uma mistura das biomassas das plantas *P. lucens* e *Salvinia* sp. são reportados. A eficiência do processo foi medida em relação à remoção dos metais cobre, zinco, níquel e ferro. Os resultados mostram que a alternativa estudada é eficiente na remoção de metais presentes de forma residual em efluentes da indústria metal-mecânica.

**Palavras-chave:** biossorção, macrófitos aquáticos, metais pesados, efluentes, remoção.

## ABSTRACT

*The present work shows the potential use of the non-living biomass of aquatic plants for the removal of heavy metal ions from waste waters. It is reported the main characteristics of the plant tissues of the species Potamogeton lucens, Salvinia sp. and Eichhornia crassipes and the mechanism of metal binding. Additionally, the results obtained in the treatment of an electroplating wastewater in a packed bed column filled with a mixture of P. lucens and Salvinia sp. biomasses are shown. The process efficiency was evaluated in terms of copper, zinc, nickel and iron removal. The results show that the process studied is efficient for the removal of residual concentration of heavy metal present in waste-waters from metal finishing industries.*

**Keywords:** biosorption, aquatic macrophytes, heavy metals, effluent, removal.

## INTRODUÇÃO

Diversos processos podem ser aplicados no tratamento de efluentes contendo metais pesados, entre outros, pode-se citar a precipitação química, a evaporação, a cementação, a extração com solventes, a flotação, os processos com membranas e os processos de sorção. A remoção dos metais contaminantes geralmente é realizada por precipitação química. Embora este método seja relativamente simples e econômico, gera um grande volume de lodo e pode apresentar concentrações residuais de metais acima das normas de lançamento vigentes, sendo

necessária a aplicação de um processo complementar para o polimento final do efluente.

O processo de sorção têm sido uma das opções mais estudadas no tratamento de águas e efluentes. Entretanto, o alto custo dos materiais encontrados comercialmente (resinas de troca iônica, resinas quelantes e carvão ativado) inviabiliza o seu largo emprego industrial. Desta forma, atuais pesquisas têm sido dirigidas na busca de materiais alternativos, de baixo custo, que tenham a capacidade de remover os metais dissolvidos. Materiais alternativos como minerais (ZAMZOW e MURPHY, 1992; LIN e SPEVAKOVA,

1994; RUBIO e TESSELE, 1997), microrganismos (VOLESKY, 1990; COTORAS et al., 1993; MATTUSKA e STRAUBE, 1993), algas (COSTA et al., 1996), biomassas diversas (CARVALHO, 1992; HAFEZ et al. 1992; BANERJEE e SARKER, 1997) e diferentes subprodutos e resíduos de processos industriais (ZOUBOULIS et al., 1992; FÉRIS, 1998; COSTA, 1998) têm sido testados.

Por outro lado, estudos recentes mostram que a biomassa de macrófitos aquáticos, tais como *Potamogeton lucens*, *Salvinia* sp. e *Eichhornia crassipes*, mesmo secas, possuem uma alta capacidade

de acumular íons metálicos (SCHNEIDER, 1995; SCHNEIDER e RUBIO, 1999), corantes e óleos (RIBEIRO et al, 1999; RIBEIRO e RUBIO, 1999). No caso dos metais pesados, essas biomassas podem suportar vários ciclos de sorção e dessorção e podem ser usadas em processos similares aos utilizados para carvão ativado e resinas de troca iônica. Desta forma, no presente trabalho foi avaliado o uso de plantas aquáticas secas, em escala piloto, na remoção de íons metálicos presentes em concentração residual no efluente proveniente de uma indústria típica de eletrodeposição. O processo de sorção foi realizado em uma coluna de percolação de leito fixo, recheada com a biomassa das plantas aquáticas secas *Potamogeton lucens* e *Salvinia* sp..

## REVISÃO DE LITERATURA

### Plantas aquáticas

A vegetação de macrófitos aquáticos de água doce tem um papel ecológico importante. Muitas comunidades destas plantas são extremamente produtivas, principalmente em locais com elevado grau de eutrofização. No Brasil, devido ao clima apropriado, diversas espécies apresentam altos índices de reprodução. O exemplo mais clássico é do "aguapé",

*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, que apresenta valores de produtividade de até 1000 kg/ha.dia (COELHO, 1994).

Essas plantas aquáticas são conhecidas por sua habilidade de acumulação de poluentes, que pode ocorrer por interações físico-químicas ou por mecanismos dependentes do metabolismo. Diversos estudos

foram realizados neste sentido. A Figura 1 mostra um levantamento dos trabalhos publicados no período 1975-1999, que utilizaram plantas aquáticas no tratamento de águas e efluentes. No caso do uso de plantas aquáticas vivas, a remoção de nutrientes (N, P e DBO) foi a alternativa mais estudada. O tratamento de águas prove-

Figura 1 - Estudos realizados no tratamento de águas e efluentes com plantas aquáticas no período 1975-1999.

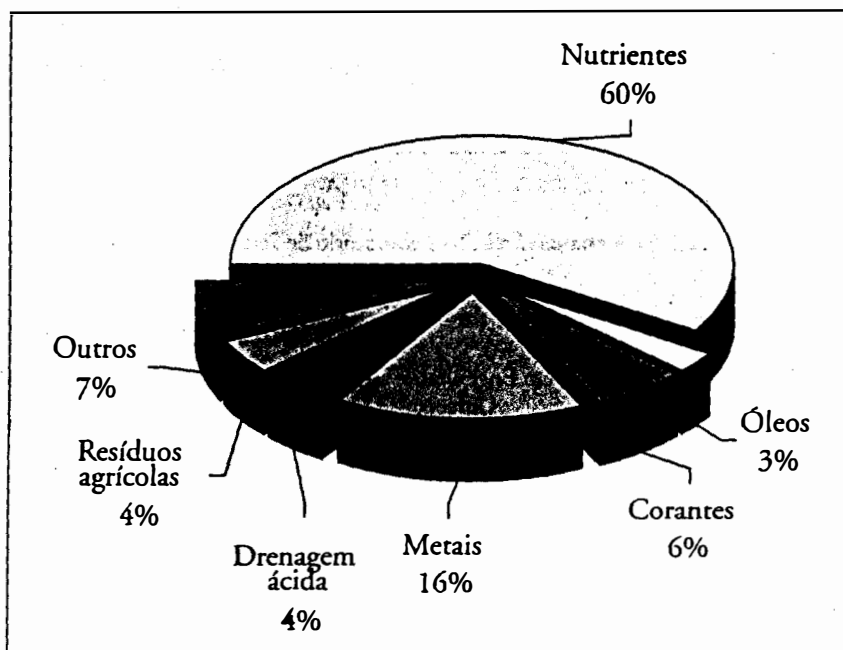


Figura 2: Macrófitos aquáticos de água doce estudados: (a) *Eichhornia crassipes*, (b) *Salvinia* sp., (c) *Potamogeton lucens*.

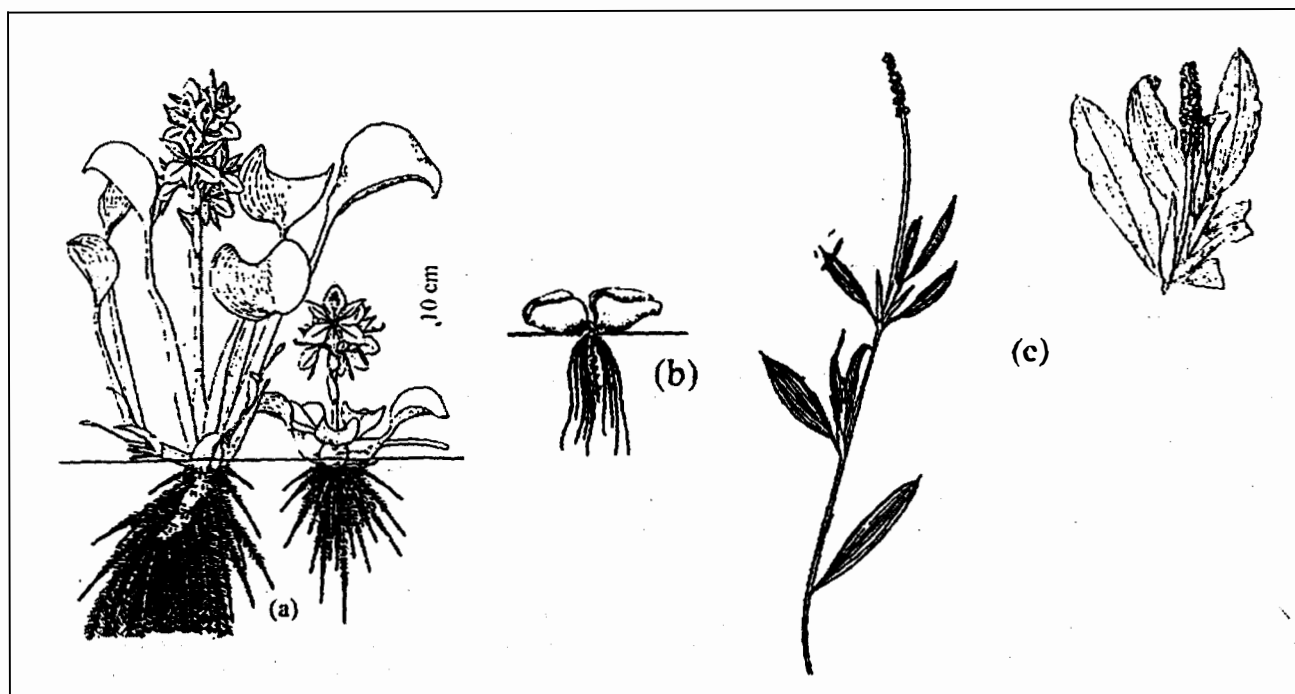


Tabela 1-Propriedades da biomassa das plantas aquáticas (granul. abaixo de 0,59 mm).

Propriedade	<i>P. lucens</i>	<i>Salvinia sp.</i>	<i>E. crassipes</i>
Forma das partículas	lamelar	lamelar/acicular	lamelar/acicular
Massa específica aparente	0,15 g/cm <sup>3</sup>	0,13 g/cm <sup>3</sup>	0,13 g/cm <sup>3</sup>
Massa específica real	1,2 g/cm <sup>3</sup>	1,1 g/cm <sup>3</sup>	1,1 g/cm <sup>3</sup>
Retenção de água	3,1 g/g	4,2 g/g	3,2 g/g
Área superficial	415 m <sup>2</sup> /g	270 m <sup>2</sup> /g	250 m <sup>2</sup> /g
Comportamento de troca iônica	catiônico fraco	catiônico fraco	catiônico fraco
Concentração de grupos carboxila	1,5 meq/g	0,9 meq/g	0,7 meq/g
Concentração de grupos oxidrila	1,3 meq/g	2,2 meq/g	0,9 meq/g
Comportamento partição água/hexano	hidrofílico	hidrofóbico	hidrofílico
Teor de proteínas	21,7 %	11,5 %	10,0 %
Teor de carboidratos	66,0 %	77,2 %	69,0 %
Teor de lipídeos	0,9 %	1,1 %	0,7 %
Teor de cinzas	11,4 %	10,2 %	20,3%

Fonte: SCHNEIDER (1995)

nientes das drenagens ácidas das minas, dos resíduos agrícolas, das indústrias têxteis e a remoção de metais foram avaliados em menor proporção.

O uso de plantas aquáticas secas na remoção de contaminantes é bem recente. Algumas das espécies que apresentam alta capacidade de acumular metais são os macrófitos flutuantes *Eichhornia crassipes* e a *Salvinia sp.* e o macrófito submerso *Potamogeton lucens*, Figura 2 (SCHNEIDER, 1995, SCHNEIDER et al., 1999a). Em prosseguimento a estes estudos a remoção de óleos (RIBEIRO et al., 1998a; RIBEIRO et al., 1998b) e de corantes orgânicos (FINCATO et al., 1998) dissolvidos também foi avaliada. Estes autores demonstraram que a biomassa das plantas aquáticas pode ser seca, moída e embalada para ser utilizada no tratamento de efluentes como qualquer outro material adsorvente e que o conhecimento prévio das características superficiais dos tecidos vegetais de uma determinada espécie permite uma adequada escolha para a remoção de determinados poluentes.

### Caracterização dos biossorventes

As características físicas, química e biológicas da biomassa seca e fragmentada das espécies *Potamogeton lucens*, *Salvinia sp.* e *Eichhornia crassipes* encontram-se na Tabela 1.

A remoção de metais pesados de soluções aquosas por estas plantas aquáticas foi caracterizada detalhadamente por SCHNEIDER, 1995. A sorção dos íons

metálicos ocorre por reações de troca iônica, por grupos trocadores catiônicos fracos, predominantemente íons carboxila presentes na superfície das plantas (SCHNEIDER et al., 1999b). A remoção dos metais pesados pode ser eficientemente realizada em colunas de percolação com leito empacotado. Após a saturação, os metais podem ser recuperados e a biomassa regenerada por eluição com soluções ácidas. Vários ciclos de sorção/dessorção podem ser realizados sem uma relevante perda na capacidade de sorção e degradação física dos materiais.

### Efluentes de indústrias de galvanoplastia

Os efluentes líquidos das indústrias ou dos setores de eletrodeposição, anodização e outros tratamentos de superfícies metálicas são constituídos, principalmente, pelas águas de lavagem de peças. As operações de desengraxe alcalino, decapagem ácida e eletrodeposição são seguidas por operações de lavagem, que geram significativos volumes de águas contaminadas com as substâncias tóxicas que fazem parte da composição dos banhos (IMAI, 1977). As composições médias de alguns poluentes comumente encontrados em efluentes de indústrias de Galvanoplastia, são mostradas na Tabela 2.

O processo mais usado para remoção de metais pesados da solução é a precipitação química (aproximadamente 75% das indústrias de tratamento de superfícies), usando hidróxidos, carbonatos, sulfetos ou alguma combinação destes (IMAI, 1977; PATTERSON, 1977).

A técnica de precipitação mais comum utiliza hidróxidos, devido à relativa simplicidade, baixo custo e facilidade de controle do pH. As solubilidades de vários hidróxidos metálicos são minimizadas na faixa de pH entre 8 e 11. Antes da precipitação o cromo (VI) presente deve ser reduzido na solução com metabissulfito de sódio, sulfato ferroso ou ferro metálico e os complexos de compostos organometálicos e cianetos devem ser oxidados com hipoclorito de sódio ou outro agente oxidante.

No entanto, a precipitação é ideal para efluentes contendo altas concentrações de metais, acima de 100 mg/L. Em concentrações diluídas o precipitado apresenta baixa cinética de sedimentação, obrigando a adição extra de outros sais (como FeCl<sub>3</sub> e Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) ou de polieletrólitos (DANIELS, 1975; JELLINEK e SANGEL, 1972). Também, o método de precipitação química muitas vezes não permite atingir os padrões exigidos pela legislação, sendo necessários a aplicação de um processo complementar para o polimento final do efluente. A Figura 3 mostra um esquema básico de tratamento realizado pelas indústrias de eletrodeposição, onde foi inserido um processo complementar para o polimento final descrito neste trabalho.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Biossorventes

As plantas aquáticas *Potamogeton lucens* e *Salvinia sp.* utilizadas como biossorventes, foram coletadas na Lagoa

**Tabela 2 - Composição média de efluentes de indústrias de Galvanoplastia.**

Parâmetros	Média	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	25	20	28
Cianeto (mg/L)	16,3	0,026	53
Cobre (mg/L)	12,9	0,1	52,5
Cromo VI (mg/L)	5,4	0,018	26,6
Cromo total (mg/L)	13,8	0,14	62,5
Ferro (mg/L)	10,1	0,5	42,8
Níquel (mg/L)	9,94	0,05	44,5
Óleo e graxas (mg/L)	98	1,0	868
PH	5,68	1,6	9,5
Resíduo não filtrável (mg/L)	473	8	2450
Resíduo sedimentável (mg/L)	1,98	0,1	8,5
Sulfato (mg/L)	107	12	650
Zinco (mg/L)	22,3	0,16	260

Fonte: CETESB/SP

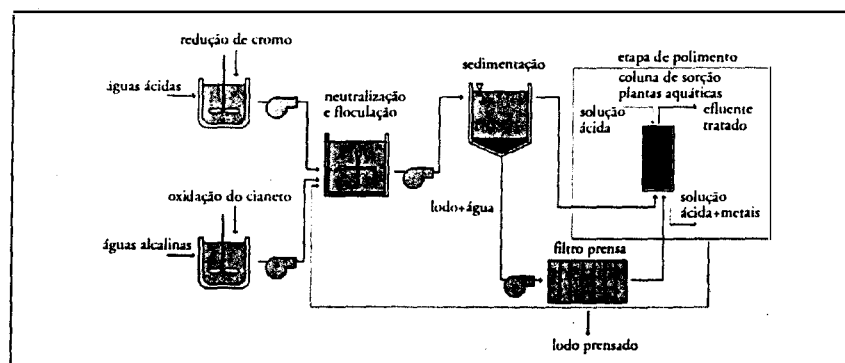
**Tabela 3 - Características do fluxo afluente da unidade piloto.**

Parâmetro	Concentração/Valor	Concentração máxima para lançamento
Cobre	5,8 mg/L	0,5 mg/L
Níquel	7,0 mg/L	1,0 mg/L
Zinco	6,0 mg/L	1,0 mg/L
Ferro	3,5 mg/L	10 mg/L
Cromo total	0,0 mg/L	0,5 mg/L
pH	8,4	6,0 e 8,5

**Tabela 4 - Parâmetros utilizados em escala piloto, na remoção de íons metálicos dissolvidos em efluente real, por adsorção no composto de biomassa das espécies *Potamogeton lucens* e *Salvinia sp.*, em coluna de percolação de leito fixo.**

Parâmetros	Resultados
Vazão	50 L/h
Velocidade linear	0,71 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h
Massa de biossorbente	660 g
Altura do leito	60 cm

**Figura 3 - Esquema básico do tratamento físico-químico realizado por indústrias de eletrodeposição, adicionado a etapa de polimento.**



do Gentil, situado no litoral Norte do Estado do Rio Grande do Sul. Após a coleta, a biomassa foi lavada, seca a 60°C, moída, peneirada para a faixa granulométrica entre 0,59 mm e 0,17 mm e embalada em sacos plásticos.

### Efluente industrial

O efluente industrial, proveniente de operações de galvanoplastia, foi fornecido por uma típica indústria metalúrgica, situada no Município de Canoas-RS. O efluente foi coletado na saída da estação de tratamento físico-químico e apresentava concentrações residuais de metais pesados (Ni, Cu, Zn), outros cátions metálicos, agentes surfatantes (desengraxantes), produtos da oxidação de cianetos, da redução do cromo (VI) e óleos.

### Análises químicas

A concentração dos íons metálicos no efluente industrial antes e após o tratamento foi medida em um espectrofotômetro de absorção atômica CG modelo 700BC, seguindo os procedimentos do Standard Methods for Water and Wastewater Analysis (APHA, 1989).

### Estudos na coluna de percolação piloto

Nos estudos em escala piloto utilizou-se uma coluna de 60 cm de altura por 30 cm de diâmetro, confeccionada em PVC (Figura 4). A unidade piloto foi montada junto a estação de tratamento da indústria metalúrgica, de forma a realizar o polimento final do efluente obtido após o tratamento físico-químico. Os macrófitos aquáticos *Potamogeton lucens* e *Salvinia sp.* foram misturados em proporções iguais e utilizados como materiais adsorventes. Os íons metálicos medidos foram o cobre, níquel, zinco e o ferro. O efluente foi tratado no sentido ascendente e as amostras foram coletadas a cada hora. Monitorou-se o pH e a concentração dos íons metálicos nos fluxos afluente e efluente ao leito de biomassa.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 mostra as características do efluente após o tratamento físico-químico realizado e, conseqüentemente, do fluxo de entrada na unidade piloto. Pode-se observar que a concentração dos ele-

Figura 4 - Coluna de percolação utilizada para testes em escala piloto.

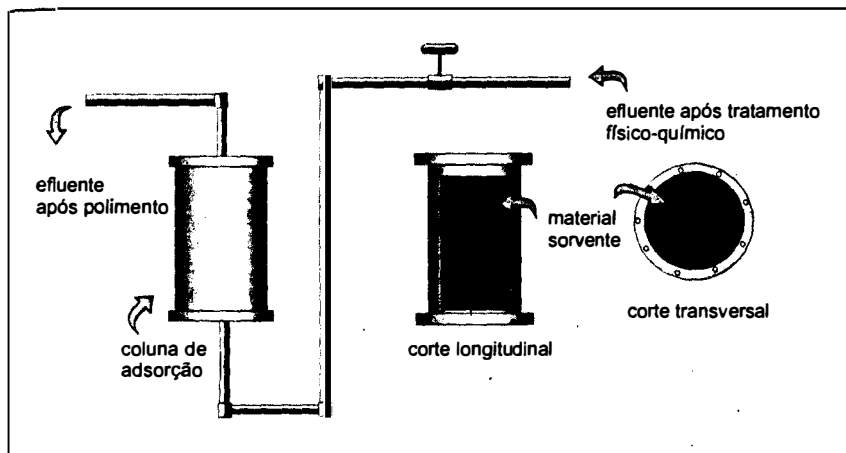
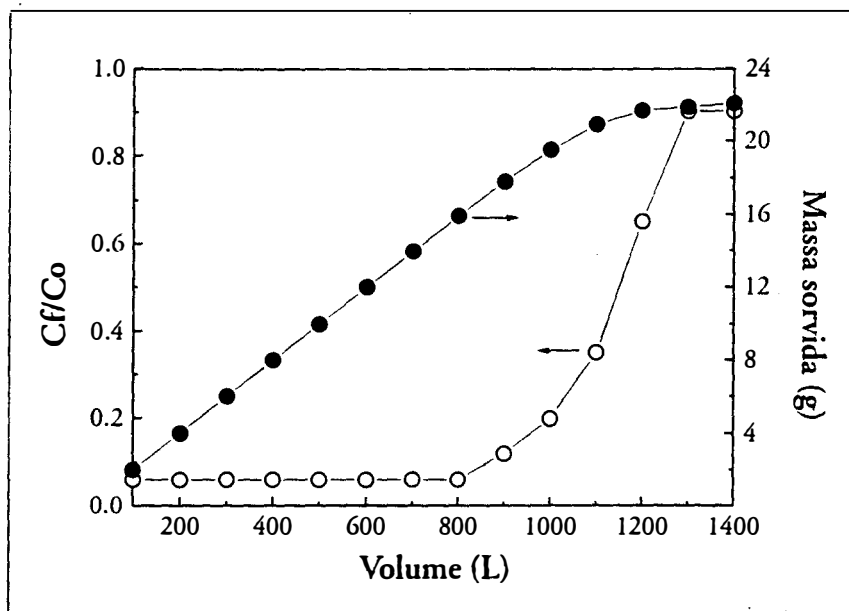


Figura 5 - Curva de saturação em coluna de percolação com o efluente industrial: 660 g de biomassa (50% *P. lucens*, 50% *Salvinia sp.*), pH 8,4 +/- 0,1, concentração inicial total de íons 22,3 mg/L (5,8 mg/L Cu, 7,0 mg/L Ni, 6,0 mg/L Zn, 3,5 mg/L Fe), vazão 50 L/h.



mentos cobre, níquel e zinco encontram-se acima do exigido pela Portaria No 05/89 da Secretaria da Saúde e Meio Ambiente do Rio Grande do Sul.

Esta concentração residual de metais pode ser explicada pela presença de uma série de ânions no efluente industrial (tais como cloretos, sulfatos, cianetos, etc) que concorrem com o OH<sup>-</sup> na formação de complexos. Deste modo, a precipitação dos íons metálicos, na forma de hidróxidos, ocorre em um valor de pH mais elevado do que o esperado em soluções sintéticas (BUTLER, 1964). Em decorrência, os íons metálicos não são totalmente removidos na etapa de tratamento anterior de floculação/precipitação.

A Tabela 4 resume as condições operacionais da unidade piloto de adsorção. Estes parâmetros foram definidos em parte em laboratório e em parte a partir de ensaios preliminares na unidade piloto (COSTA, 1998). Um aspecto importante foi a remoção dos finos, fração abaixo de 0,17 mm, para evitar a colmatção do leito. Nesta granulometria, foi possível passar um fluxo de efluente a uma velocidade linear de 0,71 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h. A área superficial desta mistura foi medida pelo método do azul de metileno (VAN DEL HUL e LYKLEMA, 1968) e apresentou um valor médio de 263 m<sup>2</sup>/g. O pH utilizado foi o de saída da estação de tratamento.

A Figura 5 mostra a curva de saturação e a acumulação obtida na remoção dos íons metálicos dissolvidos no efluente, em escala piloto. Até o ponto de quebra (900 L) o efluente se manteve dentro dos níveis de descarte exigidos pela legislação estadual, no que diz respeito à concentração dos íons cobre, zinco, níquel e ferro.

A massa total de íons metálicos sorvidos foi de 22 g para 660 g de material sorvente, a acumulação total obtida fica em torno de 33 mg/g. Foram utilizados ciclos de sorção/dessorção onde os macrófitos aquáticos foram facilmente regenerados com uma solução 0,5 % de HCl conforme sugerido por SCHNEIDER (1995).

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com os estudos em escala piloto, com a biomassa seca das plantas aquáticas, comprovam que esse material alternativo pode ser eficiente no polimento final de efluentes de indústrias de galvanoplastia. O processo de sorção e dessorção dos íons metálicos e a separação sólido/líquido em colunas de percolação mostra-se eficiente além de simples e econômico.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o auxílio financeiro recebido da Fapergs e do CNPq para o desenvolvimento deste trabalho. Um especial agradecimento para as alunas Maria Ercília Arruda e Fabíola Adam pela ajuda na parte experimental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 17 ed., 1989. 1155 p.
- BANERJEE, G., SARKER, S. The role of *Salvinia rotundifolia* in scavenging aquatic Pb (II) pollution: a case study. *Bioprocess Engineering*, v.17, n.5, p.295-300, Oct.,1997.
- BUTLER, J.N. *Ionic Equilibrium: a Mathematical Approach*. Reading: Addison-Wesley, 1964.
- CARVALHO, I.L.Q. *Bioacumulação de Cromo, Cádmio, Cobre e Chumbo pela Macrófita Aquática Ceratophyllum demersum L. em Condições de Laboratório*. Porto Alegre, 1992. 138p. Dissertação de Mestrado - Curso de Pós-Graduação em Ecologia da UFRGS.
- COELHO, T. Agupé: bom, bonito e barato. *Ecologia e Desenvolvimento*, n.38, p.2-4, 1994.

- COSTA, A.C.A., MESQUITA, L.M.S., TORNOVSKY, J. Batch and continuous heavy metals biosorption by a brown seaweed from a zinc-production plant. *Minerals Engineering*, v.8, p.811-824, 1996.
- COSTA, C.A. *Sorção de Ions Cu, Ni e Zn em Rejeito de Carvão e Outros Materiais Não Convencionais*. Porto Alegre. Escola de Engenharia, 1998. 64p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais, UFRGS.
- COTORAS, D., VIEDMA, P., PIMENTEL, J. Biosorption of metals ions by attached bacterial cells in a packed-bed bioreactor. In: Torma, A.E.; Apel, M.L.; Brierley, C.L. (Eds.) *Biobiohydrometallurgical Technologies*. TMS: 1993, v.2, p.103-110.
- DANIELS, S.L. Removal of heavy metals by iron salts and polyelectrolyte flocculants. In: *Water*, 1975. *AIChE Symposium Series*, v.71, n.151, p.265-271.
- FÉRIS, L.A. *Remoção de Ions Cu, Zn e Ni por Sorção-Flotação em um Rejeito do Beneficiamento do Carvão - Processo FPS*. Porto Alegre. Escola de Engenharia, 1998. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais, UFRGS.
- FINCATO, F., WALBER, M., SCHNEIDER, I.A.H. Adsorventes para remoção do corante rodamina de efluentes do beneficiamento de águas. In: X SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - UFRGS, 1998. *Anais...* Porto Alegre-RS, n.163, Outubro, 1998.
- HAFEZ, M.B., HAFEZ, N., RAMADAN, Y.S. Uptake of Cerium, cobalt and cesium by *Potamogeton crispus*. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, v.54, p.337-340, 1992.
- IMAI, Y. Treatment of electroplating waste water. *Technocrat*, v.10, n.4, p.44-48, 1977.
- JELLINEK, H.H.G., SANGEL, E.S.P. Complexation of metal ions with natural polyelectrolytes. *Water Research*, v.6, n.3, p.305-314, 1972.
- LIN, I.J., SPEVAKOVA, I. Utilization of minerals in water treatment In: Demirel & Ersayin (Ed.) *Progress in Mineral Processing Technology*. Balkema: Rotterdam, p.289-294, 1994.
- MATTUSKA, B., STRAUBE, G. Biosorption of metals by a waste biomass. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, v.58, p.57-63, 1993.
- PATTERSON, J.W., ALLEN, H.E., SCALA, E.J.J. Carbonate precipitation for heavy metals pollutants. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, v.49, n.12, p.2397-2410, 1977.
- RIBEIRO, T.H., AMARAL, S.G., RUBIO, J., SMITH, R.W. Sorption of oils onto dry aquatic plant biomass. In: FIFTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTAL ISSUES AND WASTE MANAGEMENT IN ENERGY AND MINERAL PRODUCTION, 1998, Ankara-Turkey. *Proceedings...* Ankara-Turkey, 1998a, p.423-427.
- RIBEIRO, T.H., WERMAN, A.M., CAPPONI, E.N., GALLINA, S.C., RUBIO, J. Tratamento de águas contaminadas com compostos orgânicos empregando a biomassa seca de *Salvinia* sp. In: II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL - GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS E CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL, 1998, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre-RS, 1998b, p.19-25.
- RIBEIRO, T. H., RUBIO, J. Emulsified oil biosorption onto non-living biomass of *Salvinia* sp. In: GLOBAL CONGRESSO INTERNACIONAL REWAS'99-Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology-REWAS'99, TMS-Inasmet. (L.Gaballah, J. Hager and R. Solozabal, Eds.). San Sebastián-Espanha, Setembro de 1999, *Proceedings* p. 2249-2258.
- RIBEIRO, T. H., RUBIO, J., SMITH, R.W. A Hydrophobic Aquaphyte Biomass as an Oil Filter for Oil-in-water Emulsions. In: 2nd INTERNATIONAL CONFERENCE "ANALYSIS AND UTILIZATION OF OILY WASTES" AUZO'99 - Environmental Technology for Oil Pollution, 1999. A ser publicado na revista "Spill Science & Technology".
- RUBIO, J., TESSELE, F. Removal of heavy metals ions by adsorptive particulate flotation. *Minerals Engineering*, v.10, n.7, p.671-679, 1997.
- SCHNEIDER, I.A.H. *Biosorção de Metais Pesados com Biomassa de Macrófitas Aquáticas*. Porto Alegre: Escola de Engenharia, 1995. 141p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais, UFRGS.
- SCHNEIDER, I.A.H., RUBIO, J. Sorption of heavy metal ions by the non living biomass of freshwater macrophytes. *Environmental Science & Technology*, v.33, 2213-2217, 1999.
- SCHNEIDER, I.A.H., SMITH, R.W., RUBIO, J. Effect of mining chemicals on biosorption of heavy metal ions onto the biomass of *Potamogeton lucens*. *Minerals Engineering*, 12, 255-260, 1999a.
- SCHNEIDER, I.A.H., RUBIO, J., SMITH, R.W. Is the sorption of metal ions onto plants biomass adsorption or surface precipitation? In: SKAVSJOHOLM CONFERENCE CENTRE AKERSBERA - Minerals Processing IV, Stockholm, Sweden, August 15-20, 1999b. United Engineering Foundation, Inc. A ser publicado na revista *International Journal of Mineral Processing*.
- VANDELHUL, H.J., LYKLEMA, J. Determination of specific surface areas of dispersed materials. Comparison of the negative adsorption method with some other methods. *Journal of the American Chemical Society*, v.9, n.12, p.3010-3015, June 1968.
- VOLESKY, B. Biosorption and biosorbentes. In: Volesky, B. (Ed.) *Biosorption of Heavy Metals*. Boca Raton: CRC Press, 1990, p.3-6.
- ZAMZOW, M.J., MURPHY, J.E. Removal of metal cations from water using zeolites. *Separation Science and Technology*, v.27, n.14, p.1969-1984, 1992.
- ZOUBOULIS, A.I., KYDROS, K.A., MATIS, K.A. Adsorbing flotation of copper hydroxide precipitates by pyrite fines. *Separation Science and Technology*, v.27, n.15, p.2143-2155, 1992.

Versão revisada recebida em 12/2000.

**Endereço para correspondência:**

**Jorge Rubio**

**Av. Osvaldo Aranha 99  
CEP 90035-190  
Porto Alegre - RS**

**Telefax: (51) 316-3926**

**jrubio@vortex.ufrgs.br**

**FUNDO EDITORIAL ABES**

**livraria@abes-dn.org.br**