

# Avaliação da Biossorção do Íon Zinco(II) Utilizando a Macrófita *Eichhornia crassipes*

Fábio Luciano Lavarda, Andréia Colombo, Nora Díaz Mora, Fernando Rodolfo Espinoza-Quiñones, Aparecido Nivaldo Módenes

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) / Programa de Pós Graduação em Engenharia Química – PEQ/ CECE – Toledo – PR

fabiodeq@gmail.com, deia\_colombo@hotmail.com, noradiasmora@hotmail.com, f.espinoza@terra.com.br, modenes@unioeste.br

**Abstract.** *In this work, batch Zn(II) biosorption experiments were carried out using the macrophytes Eichhornia crassipes biomass as biosorbent. The kinetic test data, at pH 5, have shown that the equilibrium was achieved at 2 h contact time. The kinetic and equilibrium data have been fit better by the pseudo-second order kinetic model and Langmuir isotherm model, respectively. The maximum adsorption capacity ( $q_{max}$ ) and adsorption rate constant ( $b$ ) were  $0.63 \text{ mEq.g}^{-1}$  and  $0.53 \text{ L.mEq}^{-1}$  for Zn(II), respectively. The results have proved that the Eichhornia crassipes biomass can be used as an effective and alternative adsorbent in remediation of industrial effluents.*

**Resumo.** *Neste trabalho, os experimentos de biossorção de Zn(II) foram realizados em bateladas, utilizando a biomassa da macrófita Eichhornia crassipes, como biossorvente. O resultado do teste cinético, em pH 5, apresentou um tempo de equilíbrio de 2 h. Os dados cinéticos e de equilíbrio foram melhor descritos pelo modelo de pseudo-segunda ordem e pela isoterma de Langmuir, respectivamente. A capacidade máxima de adsorção ( $q_{max}$ ) e a razão entre as taxas de adsorção e dessorção ( $b$ ) foram  $0,63 \text{ mEq.g}^{-1}$  e  $0,53 \text{ L.mEq}^{-1}$  para o Zn(II), respectivamente. Os resultados provaram que a biomassa de Eichhornia crassipes pode ser usada como um efetivo e alternativo adsorvente na remediação de efluentes industriais.*

## 1. Introdução

A industrialização, ao passo que traz progresso e desenvolvimento, traz também consigo, um inevitável dano ambiental, especialmente, no caso de efluentes líquidos contendo metais pesados e tóxicos, ao serem lançados por indústrias em ambientes aquáticos [VERMA *et al.*, 2008]. Dentre as mais variadas formas de contaminação do meio ambiente, os principais poluentes são os metais pesados. Apesar de serem essenciais para inúmeros processos metabólicos aos organismos, estes metais, quando em excesso, podem tornar-se potencialmente citotóxicos, carcinogênicos e mutagênicos. [DOMINGOS *et al.*, 2005].

O zinco possui alta resistência à corrosão e pode ser facilmente encontrado como material de revestimento (galvanização) de outros metais, como ferro e aço. Em indústrias, o zinco é também utilizado na fabricação de baterias, borrachas, tintas, fertilizantes e na formação de ligas metálicas [ZEITOUNI, 2003 e MISHRA *et al.*, 2008]. No corpo humano adulto são necessários cerca de 200 mg diários de zinco, o qual é fundamental na participação do metabolismo, como co-fator, em mais de 300 metaloenzimas. Quando encontrado em altas concentrações, este metal pode diminuir a absorção de cobre e outros metais no sistema imunológico, facilitando assim, a ação de microorganismos estranhos. Pode, também, causar irritabilidade ao sistema respiratório, quando inalado, além de proporcionar outros sintomas como: vômitos e diarreias [DUARTE *et al.*, 2000 e PERSON *et al.*, 2006].

A introdução dos metais pesados contaminando o meio ambiente é proveniente desde a sua extração até o seu uso, depois de ter sido industrializado. Com o objetivo de preservação do meio ambiente, para evitar a contaminação dos rios brasileiros foi criada uma legislação ambiental, a Resolução CONAMA 357/2005, a qual especifica as concentrações máximas de metais pesados permitidas para o lançamento dos efluentes industriais [CALFA *et al.*, 2007]. Para o íon Zn(II), a concentração máxima permitida para águas doces de classe III (CONAMA 357/2005) são 5,0 mg/L de zinco total. Para a redução da poluição existem vários métodos como: filtração, troca iônica, tratamento eletroquímico, precipitação, oxidação ou redução, dentre outros. Devido o alto custo, o tempo a ser dispensado para o tratamento e até mesmo, pela dificuldade experimental (especialmente quando os metais estão dissolvidos em grandes volumes de água e em concentrações relativamente baixas), muitas vezes estes tratamentos não são realizados [RODRIGUES *et al.*, 2006].

Devido a esses fatores, cresce a cada dia os estudos com macrófitas aquáticas, para a remediação de efluentes contaminados. Os principais fatores que levam a utilização desse método de remoção são: baixo custo e abundância de tais plantas na natureza [KUBILAY *et al.*, 2007]. Atualmente, de acordo com os estudos feitos, são as macrófitas aquáticas que realizam maior bioremoção de metais pesados, ao serem comparadas com as plantas terrestres [DWIVEDI *et al.*, 2008].

Entre as macrófitas, destaca-se o aguapé (*Eichhornia crassipes*), que possui a capacidade de incorporar, em seus tecidos, altas quantidades de nutrientes [MEDEIROS *et al.*, 1999 e OLIVEIRA *et al.*, 2001]. Devido o rápido crescimento e renovação a tal planta pode tornar-se praga pesada. Suas massas flutuantes podem causar dificuldades de navegação fluvial, impedindo o tráfego de embarcações [RIZZINI *et al.*, 1997 e SCHNEIDER *et al.*, 2003]. Esses fatores (alta capacidade de incorporação de nutrientes, rápido crescimento e renovação) são positivos e atrativos para a realização dos estudos, na área da biossorção com o aguapé. Tais estudos comprovam que este é um processo de baixo custo, com possibilidades de amenizar as concentrações de metais pesados, satisfatoriamente, quando comparado com os demais tipos de tratamentos dos efluentes industriais.

Assim sendo, o objetivo deste trabalho é avaliar a capacidade de remoção e o pH ótimo de sorção do íon Zn(II), utilizando a macrófita *Eichhornia crassipes* seca, através de testes de biossorção.

## 2. Materiais e Métodos

O biossorvente utilizado foi a macrófita aquática *Eichhornia crassipes* seca. A planta foi coletada no Zoológico Municipal de Cascavel, lavada em água corrente, enxaguada com água destilada, secada em estufa à temperatura de 30°C e triturada para, então, ser utilizada.

### 2.1. Teste cinético

A avaliação da cinética de biossorção do íon Zn(II), pela biomassa da macrófita *Eichhornia crassipes*, foi realizada com 0,25 g de biomassa seca, 50 mL de solução sintética de cloreto de zinco puro (ZnCl<sub>2</sub>) (grau analítico), contendo 3,244 mEq.L<sup>-1</sup> para o teste cinético, sem ajuste de pH e 3,619 mEq.L<sup>-1</sup> para o teste cinético, com ajuste de pH em 5,0. Para as amostras calibradas em pH 5, para que não houvesse precipitação, conforme a necessidade, era ajustado o pH durante os experimentos. Todas as bateladas foram realizadas com temperatura de agitação de 30 °C e velocidade de agitação constante, em “shaker”, a 90 rpm.

Após cada experimento, as soluções retiradas do shaker foram filtradas com bomba à vácuo, utilizando membranas de ultrafiltração de 0,45 µm, diluídas com água destilada para

posterior análise e guardadas sob refrigeração até serem realizadas as leituras em espectrofotômetro de absorção atômica (AA 932-GBC – Analítica).

As amostras foram retiradas em intervalos de tempo que variaram de 5 minutos até 48 horas para estabelecer assim, o tempo que a macrófita levava para atingir o equilíbrio na biossorção de cada íon.

A concentração de equilíbrio ( $q_{eq}$ ) do íon metálico no biossorvente foi calculada utilizando a equação 01:

$$q_{eq} = \frac{V(C_0 - C)}{m_s} \quad 01$$

Sendo:

$q_{eq}$  é a quantidade de metal sorvido por quantidade de biomassa utilizada quando é atingido o equilíbrio (mEq.g<sup>-1</sup>)

$C_0$  é a concentração inicial do íon metálico na solução (mEq.L<sup>-1</sup>)

$C$  é a concentração de equilíbrio do íon na solução (mEq.L<sup>-1</sup>)

$V$  é o volume da solução no erlenmeyer (L)

$m_s$  é a massa do biossorvente (g)

Os modelos mais utilizados para a descrição da cinética de adsorção de metais pesados são os de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem [HO *et al.*, 1999; PIETROBELLI *et al.*, 2009; KACZALA *et al.*, 2009 e MÓDENES *et al.*, 2009].

Os dados cinéticos obtidos experimentalmente foram analisados de acordo com as equações de Lagergren e Ho. A forma linear do modelo de pseudo-primeira ordem foi descrito por Lagergren conforme a equação 02:

$$\log(q_{eq} - q_t) = \log(q_{eq}) - \left( \frac{K_1}{2,303} \right) t \quad 02$$

Em que:

$K_1$  é a constante de velocidade (h<sup>-1</sup>)

$q_{eq}$  é a quantidade de metal sorvido por quantidade de biomassa utilizada quando é atingido o equilíbrio (mEq.g<sup>-1</sup>)

$q_t$  é a quantidade de metal sorvido por quantidade de biomassa utilizada no tempo  $t$  (mEq.g<sup>-1</sup>)

$t$  é o tempo de adsorção (h)

Pode-se aplicar também o modelo linear de pseudo-segunda ordem de Ho, para o qual a equação que o descreve é a equação 03:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_{eq}^2} + \frac{1}{q_{eq}} t \quad 03$$

Sendo:

$K_2$  é a constante da taxa de biossorção (g.mEq<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>).

## 2.2. Isotermas de Sorção

Para obter as isotermas de adsorção, massas variando entre 0,02 g até 1 g de macrófita seca foram utilizadas para os experimentos. O efeito do pH na biossorção pela macrófita pode ser analisado nesta etapa através das isotermas. Por isso, foram utilizados três valores distintos de pH (3, 4 e 5) e também foi realizado o experimento sem ajuste de pH.

O tempo de equilíbrio (tempo de agitação) para coletar os dados foi determinado no teste cinético e as concentrações das soluções-mãe utilizadas variaram de 2 mEq.L<sup>-1</sup> até 8 mEq.L<sup>-1</sup> para atingir toda a extensão da isoterma. A temperatura de biossorção e a velocidade de agitação do experimento foram as mesmas utilizadas no teste cinético, 30 °C e 90 rpm, assim como a filtração e as análises em espectrofotômetro de absorção atômica.

As isotermas mais empregadas para biossorções utilizando macrófitas são as de Langmuir e Freundlich [SCHNEIDER *et al.*, 1999; GHODBANE *et al.*, 2008; GUPTA *et al.*, 2009 e MÓDENES *et al.*, 2009]. Os dados de equilíbrio obtidos experimentalmente foram ajustados através das isotermas. A isoterma de Langmuir é definida conforme a equação 04:

$$q = q_{\max} \left( \frac{b.C}{1 + b.C} \right) \quad 04$$

Em que:

q é a quantidade de metal adsorvido por quantidade de biomassa utilizada no equilíbrio (mEq.g<sup>-1</sup>)

q<sub>max</sub> é a capacidade máxima de adsorção do metal por quantidade de biomassa utilizada no equilíbrio (mEq.g<sup>-1</sup>).

b é razão entre as taxas de adsorção e dessorção (L.mEq<sup>-1</sup>).

C é a concentração de metal na solução não adsorvido pela biomassa no equilíbrio (mEq.L<sup>-1</sup>).

A isoterma de Freundlich é descrita conforme a equação 05:

$$q = k.(C)^n \quad 05$$

Sendo:

q é a quantidade de metal adsorvido por quantidade de biomassa utilizada no equilíbrio (mEq.g<sup>-1</sup>).

k é a constante adimensional relacionada à capacidade de adsorção.

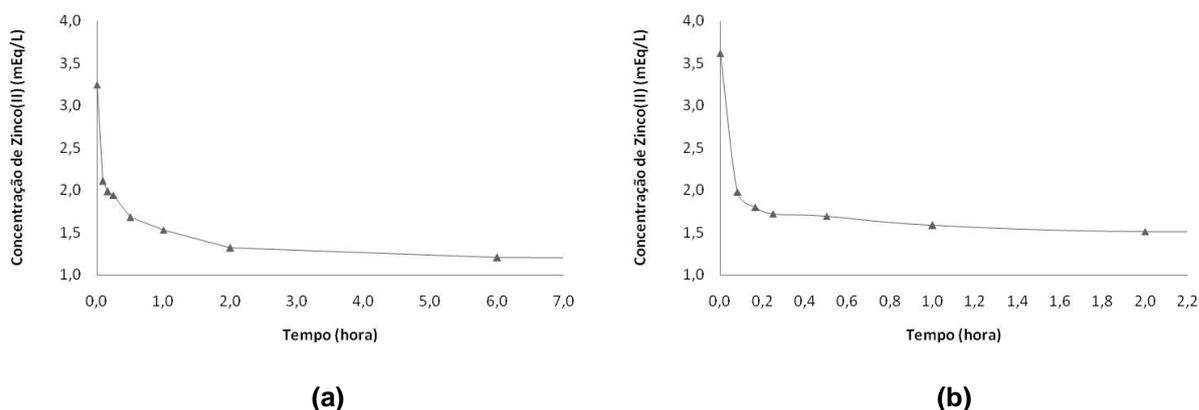
C é a concentração de metal na solução não adsorvido pela biomassa no equilíbrio (mEq.L<sup>-1</sup>).

n é a constante adimensional relacionada à intensidade de adsorção.

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1. Teste Cinético

O resultado do teste cinético de biossorção do íon Zn(II) pela macrófita *Eichhornia crassipes* sem ajuste de pH e com pH 5 é apresentado na Figura 1.



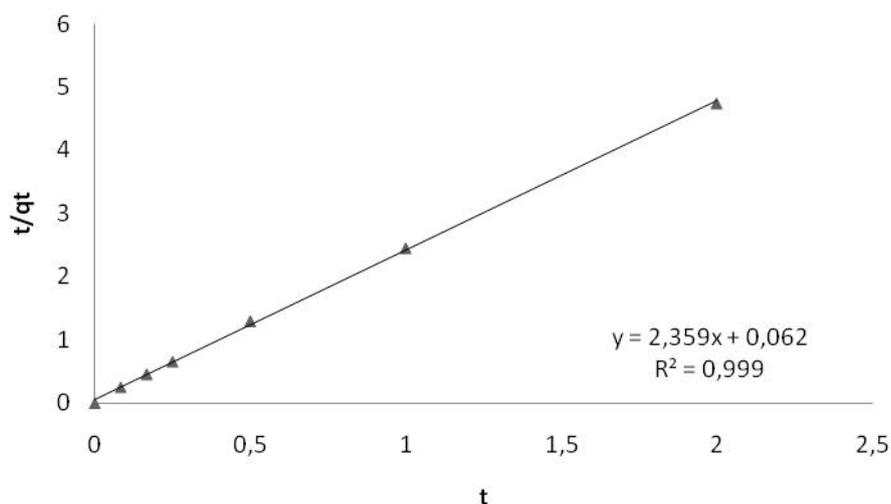
**Figura 1. Cinética de bioissorção do íon Zinco(II) pela macrófita *Eichhornia crassipes*, sem ajuste de pH (a) e com pH 5 (b).**

Na Figura 1.a, verifica-se uma remoção acentuada nos primeiros 5 minutos de aproximadamente 35% e em seguida ocorre uma diminuição da taxa de adsorção até atingir o equilíbrio em 6 horas com 62,95% de remoção de Zn(II) pelo aguapé. Já na Figura 1.b ocorre a mesma intensificação da remoção nos primeiros 5 minutos (aproximadamente 45%), porém, o equilíbrio é atingido em 2 horas, com remoção de 58,17%. Esse fator é aliado em um processo de purificação de efluentes industriais, na otimização do tempo de agitação, reduzindo-se assim os gastos de energia, com a mesma capacidade de remoção.

Analisados os resultados, pôde-se verificar, para ambos os pHs estudados, uma cinética em que a adsorção é muito rápida nos primeiros minutos e ocorre de forma mais lenta até atingir o equilíbrio. Segundo Cruz *et al.* (2004), este comportamento é típico para a bioissorção dos metais que não envolvem nenhuma reação de energia, em que a remoção do metal da solução é devida à interação puramente físico-química entre a biomassa e a solução do metal. Segundo Ofter *et al.* (2003) e Klen (2006), quanto mais rapidamente ocorrer a cinética, maior é a importância prática, pois podem ser utilizados reatores com volumes menores, obtendo-se assim, maior eficiência e economia do processo. A rápida cinética sugere que a bioissorção do cátion do metal é, na maior parte, um processo de superfície, em que o cátion do metal é limitada aos grupos quimicamente ativos da superfície da parede da célula da planta [PIETROBELLI, 2007].

Existem outros estudos relativos à remoção de metais pesados utilizando macrófitas. Klen (2006) obteve a maior parte da remoção nos 10 primeiros minutos, atingindo o equilíbrio entre 1 e 2 horas para os íons Zn(II), Cu(II) e Cd(II), utilizando a biomassa seca da macrófita *Sargassum filipendula*. Pietrobelli (2007), para os mesmos íons metálicos e com a macrófita *Egeria densa*, obteve o equilíbrio entre 45 minutos e 2 horas em pH 5.

Foram empregados os modelos de pseudo-primeira ordem de Lagergren e pseudo-segunda ordem de Ho. Apenas o modelo de pseudo-segunda ordem foi representado, pois o modelo de pseudo-primeira ordem não ajustou-se satisfatoriamente aos dados, obtendo correlação inferior a 0,7. Na Figura 2 está representado o modelo de pseudo-segunda ordem para o Zn(II).

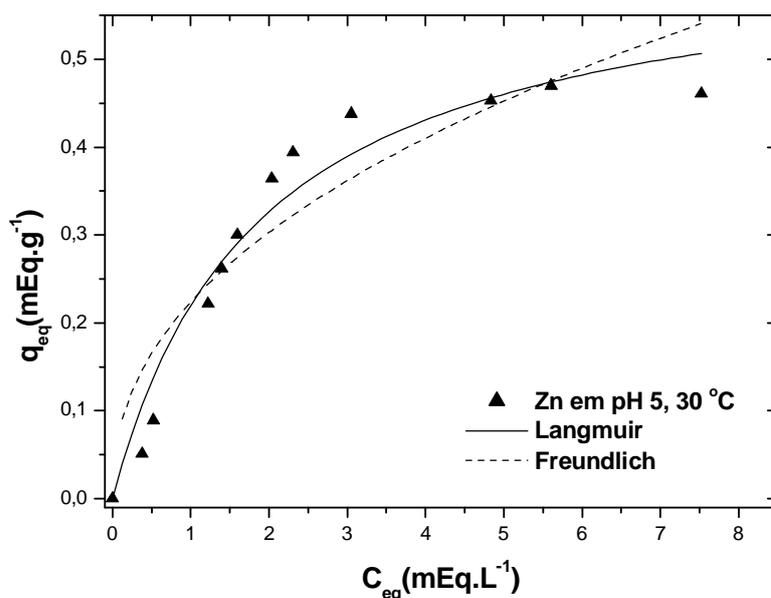


**Figura 2. Modelo de pseudo-segunda ordem da biossorção do íon  $Zn(II)$  pela macrófita *Eichhornia crassipes*.**

O modelo de pseudo-segunda ordem de Ho ajustou-se bem aos dados cinéticos. Sendo assim, foi possível determinar o parâmetro ajustável da constante da taxa de biossorção ( $K_2$ ) e o valor da quantidade de metal adsorvida por quantidade de macrófita *Eichhornia crassipes* utilizada no equilíbrio ( $q_{eq}$ ) para o  $Zn(II)$  foi  $89,2035 \text{ g.mEq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  e  $0,4239 \text{ mEq.g}^{-1}$ , respectivamente.

### 3.2. Isotermas de Sorção

Na Figura 3 estão representadas as isotermas de Langmuir e Freundlich, juntamente com os dados de equilíbrio, em pH 5.



**Figura 3. Isotermas de Langmuir e Freundlich da biossorção do íon  $Zn(II)$  pela macrófita *Eichhornia crassipes* em pH 5.**

Através dos dados de equilíbrio obtidos, faz-se a construção das isotermas de Langmuir e Freundlich, porém, é demonstrada apenas as isotermas em pH 5, em que é possível observar que, nesse pH, é atingido o maior valor de  $q_{\max}$  (quantidade máxima de íons metálicos de Zn(II) adsorvidos por quantidade de macrófita, utilizada na biossorção no tempo de equilíbrio).

O comparativo entre os parâmetros das isotermas de Langmuir e Freundlich para a adsorção do íon Zn(II) pela macrófita *Eichhornia crassipes*, em valores distintos de pH, estão representados na Tabela 1.

**Tabela 1. Resumo dos parâmetros das isotermas de Langmuir e Freundlich para diversos ajustes de pHs.**

Isoterma	Parâmetro	Zinco			
		sem ajuste de pH	pH 5	pH 4	pH 3
Langmuir	$q_{\max}$ (mEq.g <sup>-1</sup> )	0,554 ± 0,039	0,633 ± 0,054	0,578 ± 0,041	0,216 ± 0,011
	b (L.mEq <sup>-1</sup> )	0,490 ± 0,096	0,532 ± 0,116	0,482 ± 0,096	1,191 ± 0,228
	R <sup>2</sup>	0,9662	0,9561	0,9654	0,9612
Freundlich	k	0,211 ± 0,021	0,224 ± 0,025	0,191 ± 0,025	0,122 ± 0,010
	n	0,367 ± 0,062	0,437 ± 0,078	0,432 ± 0,073	0,228 ± 0,056
	R <sup>2</sup>	0,8505	0,8325	0,8702	0,7044

Para todos os metais e todos os pHs utilizados, a isoterma de Langmuir obteve maior êxito ao adequar-se de melhor forma aos dados experimentais do que a isoterma de Freundlich.

Zhao *et al.* (1999) constataram que a remoção de Zn(II) pela macrófita *Azolla filiculoides* aumentava de acordo com o aumento do pH na faixa de 3 a 6. Assim, Lesage *et al.* (2007) concluíram através de testes e com base em outros autores que a biossorção de íons metálicos é, em geral, desfavorecida para valores de pHs muito altos e também para os muito baixos.

Estudos com a bentonita para a remoção de Zn(II) foram realizados por Kubilay *et al.* (2007), obtendo um  $q_{\max}$  de 0,645 mEq.g<sup>-1</sup>, b de 2,256 L.mEq<sup>-1</sup> e R<sup>2</sup> de 0,9354 em pH 5. Lesage *et al.* (2007) utilizando a macrófita *Myriophyllum spicatum* L., porém em pH 8, obtiveram na remoção de Zn(II) um  $q_{\max}$  de 0,208 mEq.g<sup>-1</sup>, b de 28,776 L.mEq<sup>-1</sup> e R<sup>2</sup> de 0,99.

#### 4. Conclusão

A cinética de biossorção demonstrou uma acentuada remoção dos íons nos primeiros minutos, atingido o equilíbrio em 2 horas para o íon Zn(II) com remoção máxima de, aproximadamente, 58%. O modelo de pseudo-segunda ordem de Ho ajustou-se de melhor forma aos dados cinéticos da adsorção do metal pela macrófita *E. crassipes* do que o de pseudo-primeira ordem de Lagergren.

A isoterma de Langmuir se ajustou mais satisfatoriamente do que a isoterma de Freundlich para os dados experimentais dos quatro diferentes valores de pH, porém, em pH 5, foi obtido 0,633 mEq.g<sup>-1</sup>, que foi o maior valor da capacidade máxima de adsorção de Zn(II) ( $q_{\max}$ ) obtida dentre os pHs utilizados experimentalmente.

Pode-se afirmar, através dos resultados obtidos neste estudo que a biomassa da macrófita aquática *Eichhornia crassipes* possui grande potencial na remoção de íons de Zn(II) de efluentes líquidos contaminados e que o pH ótimo tanto no quesito tempo de equilíbrio quanto na quantidade máxima de remoção ocorreram em pH 5.

## 5. Agradecimentos

Agradecimentos à Fundação Parque Tecnológico Itaipu – FPTI / PDTA e ao CNPq pela concessão das bolsas de estudo de mestrado e iniciação científica, à Fundação Araucária pelo financiamento desse estudo, à Fundação de Desenvolvimento Científico e Tecnológico de Toledo – Funtec e à Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Fundetec, localizada em Cascavel, pelas parcerias na realização das leituras em espectrofotômetro de absorção atômica e ao Zoológico Municipal de Cascavel pela disponibilização da coleta da macrófita *Eichhornia crassipes*.

## 6. Referências Bibliográficas

- Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Trata das condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 17 Mar. 2005. s.p.
- Calfa, B.A. and Torem, M.L. (2007) “Biorreagentes: aplicações na remoção de metais pesados contidos em efluentes líquidos por bioadsorção/bioflotação”. *Revista Escola de Minas*, Vol. 60, nº 3, p.537-542.
- Cruz, C.C.V. *et al.* (2004) “Cadmium biosorption by *S. fluitans*: Treatment, resilience and uptake relative to other *Sargassum* spp. and brown algal”. *Water Quality Research Journal of Canada*, Vol. 39, nº 3, p.183-189.
- Domingos, V.D. *et al.* (2005) “Efeito do cobre na atividade da enzima pirogalol peroxidase em plantas de *Myriophyllum aquaticum* cultivadas em solução nutritiva”. *Planta daninha*, Vol. 23, nº 2, p.375-380.
- Duarte, R. P. S. and Pasqual A. (2000) “Avaliação do Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) em solos, plantas e cabelos humanos”. *Energia na Agricultura*, Vol. 15, nº 1.
- Dwivedi, S. *et al.* (2008) “Screening of native plants and algae growing on fly-ash affected areas near National Thermal Power Corporation, Tanda, Uttar Pradesh, India for accumulation of toxic heavy metals”. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 158, p.359–365. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.01.081
- Ghodbane, I. *et al.* (2008) “M. Kinetic and equilibrium study for the sorption of cadmium(II) ions from aqueous phase by eucalyptus bark”. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 152, p.148–158. doi:10.1016/j.jhazmat.2007.06.079
- Gupta, S. and Babu, B. V. (2009) “Removal of toxic metal Cr(VI) from aqueous solutions using sawdust as adsorbent: Equilibrium, kinetics and regeneration studies”. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 150, p.352–365.
- Ho, Y.S. and McKay, G. (1999) “Pseudo-second order model for sorption processes”. *Process Biochemistry*, Vol. 34, nº 5, p.451-465.
- Kaczala, F., Marques, M. and Hogland W. (2009) “Lead and vanadium removal from a real industrial wastewater by gravitational settling/sedimentation and sorption onto *Pinus sylvestris* sawdust”. *Bioresource Technology*, Vol. 100, p.235–243. doi:10.1016/j.biortech.2008.05.055

- Klen, M. R. F. (2006) “Estudo do Equilíbrio da Biossorção Monocomponente e Multicomponente dos íons Cobre, Zinco e Cádmio pela Biomassa Pré-Tratada de Alga Marinha *Sargassum filipendula*”. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Maringá.
- Kubilay, S. *et al.* (2007) “Removal of Cu(II), Zn(II) and Co(II) ions from aqueous solutions by adsorption onto natural bentonite”. *Adsorption*, Vol. 13, p.41–51. DOI 10.1007/s10450-007-9003-y
- Lesage, E. *et al.* (2007) “Sorption of Co, Cu, Ni and Zn from industrial effluents by the submerged aquatic macrophyte *Myriophyllum spicatum* L.”. *Ecological Engineering*, Vol. 30, p.320–325. doi:10.1016/j.ecoleng.2007.04.007
- Medeiros, R.M.L., Srur, A.U.O.S. and Pinto, C.L.R. (1999) “Estudo da biomassa de aguapé, para a produção do seu concentrado protéico”. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Vol.19, nº 2, p.226-230.
- Mishra, V. K. and Tripathi, B. D. (2008) “Accumulation of chromium and zinc from aqueous solutions using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*)”. *Journal Hazardous Materials*, Vol. 164, p.1059-1063. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.09.020
- Módenes, A. N., Pietrobelli, J. M. T. A. and Espinoza-Quiñones, F. R. (2009) “Cadmium biosorption by non-living aquatic macrophytes *Egeria densa*”. *Water Science and Technology*, Vol. 60, nº 2, p.293-300.
- Ofer, R., Yerachmiel, A. and Shmuel, Y. (2003) “Marine macroalgae as biosorbents for cadmium and nickel in water”. *Water Environment Research*, Vol. 75, p.246-253.
- Oliveira, J.A. *et al.* (2001) “Absorção e acúmulo de Cádmio e seus efeitos sobre o crescimento relativo de plantas de Aguapé e de Salvinia”. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Vol. 13, nº 3, p.329-341.
- Person, O. C., Botti, A. S. and Féres M. C. L. C. (2006) “Repercussões clínicas da deficiência de zinco em humanos”. *Arquivos de Medicina ABC*, 31(1), p.46-52.
- Pietrobelli, J.M.T.A. (2007) “Avaliação do Potencial de Biossorção dos Íons Cd(II), Cu(II) e Zn(II) pela Macrófita *Egeria densa*”. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
- Pietrobelli, J.M.T.A. *et al.* (2009) “Cadmium, copper and zinc biosorption study by non-living *Egeria densa* biomass”. *Water, Air, and Soil Pollution*. Vol. 202, p.385-392. DOI 10.1007/s11270-009-9987-x
- Rizzini, C.T. (1997) “Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos”. 2ª edição. Ed: Âmbito Cultural Edições Ltda.
- Rodrigues, R.F. *et al.* (2006) “Adsorção de metais pesados em serragem de madeira tratada com ácido cítrico”. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Vol. 11, nº 1, p.21-26.
- Schneider, I. A. H. and Rubio, J. (1999) “Sorption of heavy metal ions by the non-living biomass of freshwater macrophytes”. *Environmental Science and Technology*, Vol. 33, p.2213–2217. DOI: 10.1021/es981090z
- Schneider, I. A. H. and Rubio J. (2003) “Plantas Aquáticas: Adsorventes Naturais para a Melhoria da Qualidade das Águas”. XIX Prêmio Jovem Cientista - 2003 – Água: Fonte de Vida. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Escola de Engenharia – PPGEM. Porto Alegre, RS – Brasil.

- Verma, V.K., Tewari, S. and Rai, J.P.N. (2008) “Ion exchange during heavy metal biosorption from aqueous solution by dried biomass of macrophytes”. *Bioresource Technology*, Vol. 99, p.1932–1938. doi:10.1016/j.biortech.2007.03.042
- Zeitouni, C. F. (2003) “Eficiência de espécies vegetais como fitoextratoras de cádmio, chumbo, cobre, níquel e zinco de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico”. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas – Instituto Agrônômico / Pós-Graduação.
- Zhao, M., Duncan, J.R. and Van Hille, R.P. (1999) “Removal and recovery of zinc from solution and electroplating effluent using *Azolla filiculoides*”. *Water Resources*, Vol. 33, nº 6, p.1516–1522. doi:10.1016/S0043-1354(98)00338-8