



ESTUDO DA RELAÇÃO DO FÓSFORO COM A BIOACUMULAÇÃO DE CHUMBO NA *SALVINIA AURICULATA*

Ana Paula de Oliveira; Fernando Rodolfo Espinoza Quiñones; Aparecido Nivaldo Módenes; Isabella Garcia de Oliveira Bezerra; Maria Eduarda Bragião; Bruna Favassa Chiot

RESUMO: Este trabalho teve por objetivo a avaliação da possível influência do macronutriente fósforo (P) no processo de bioacumulação do metal pesado chumbo (Pb) na macrófita aquática *Salvinia auriculata*. Para tanto, cultivou-se a macrófita em solução hidropônica de Clark, contendo macro e micronutrientes, e determinada concentração de Pb. No caso do macronutriente ortofosfato de cálcio, testou-se diferentes concentrações para cada experimento. Os ensaios consistiram em preparar 75 recipientes plásticos contendo 5 litros de solução de cultivo, sendo estes divididos em 15 diferentes composições da solução. Aproximadamente 80 g da macrófita viva foram dispostas em cada recipiente e cultivada durante 32 dias, sendo realizadas coletas da macrófita em diferentes períodos de tempo. Para determinação das concentrações de Pb e nutrientes presentes nas partes da planta após o processo de bioacumulação, fez-se uso da técnica SR-TXRF. Baseado nos resultados obtidos, verificou-se que o aumento da concentração de P na solução promoveu redução na capacidade de adsorção de Pb nas raízes e bioacumulação nas folhas da *S. auriculata*. Comparando as concentrações de P e Pb, nos testes com concentração de fósforo de 3,2 mg L⁻¹, observou-se que houve redução da concentração de P nas partes da planta e aumento simultâneo de Pb, sugerindo-se uma possível relação entre o macronutriente e o metal no processo de bioacumulação na macrófita. De forma geral, concluiu-se que há uma relação desfavorável na fitorremediação do Pb na *S. auriculata* em função da presença de P em excesso na solução de cultivo.

PALAVRAS-CHAVES: Metais, macronutrientes, bioacumulação.

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the possible influence of the macronutrient phosphorus in the process of bioaccumulation of heavy metal accumulation in aquatic fern *Salvinia auriculata*. Therefore, the macrophyte was cultured in hydroponic Clark, containing macro and micronutrients, and certain concentration of Pb. In the case of macronutrients calcium orthophosphate, we tested different concentrations for each experiment. The trials consisted in 75 plastic containers containing 5 liters of culture solution, the latter being divided into 15 different compositions solution. Approximately 80 g of alive macrophyte were placed in each container and cultivated for 32 days with samples being collected in time periods. Concentrations of Pb and nutrients have been performed by SR-TXRF technique. Based on these results, it was found that the increase of P concentration in solution promoted a reduction in adsorption capacity of Pb in the roots and bioaccumulation of it in *S. auriculata*. Comparing the concentrations of Pb and P, there was a reduction in P concentrations in plant parts and simultaneous increase of Pb ones, suggesting a possible relationship between the macronutrient and the metal concentration in the bioaccumulation process. In general, it is concluded that there is an unfavorable ratio of Pb in the phytoremediation on the *S. auriculata* due to the presence of excess P in solution culture.

KEY WORDS: Metals, nutrients, bioaccumulation.

Ana Paula de Oliveira - Professor da UNIOESTE /Departamento de Engenharia Química/ anaoliveiraeq@gmail.com
 Fernando Rodolfo Espinoza Quiñones - Professor da UNIOESTE /Departamento de Engenharia Química/ f.espinoza@terra.com.br
 Aparecido Nivaldo Módenes - Professor da UNIOESTE /Departamento de Engenharia Química/ anmodenes@yahoo.com.br
 Isabella Garcia de Oliveira Bezerra - Acadêmica da UNIOESTE /Curso de Engenharia Química/ bella_garcia_93@hotmail.com
 Maria Eduarda Bragião - Acadêmica da UNIOESTE /Curso de Engenharia Química/ dudah_25@hotmail.com
 Bruna Favassa Chiot - Acadêmica da UNIOESTE (Bolsista CNPQ) /Curso de Engenharia Química/ CNPQ/ bruna_ed@hotmail.com

Anais Eletrônico

VIII EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar
 UNICESUMAR – Centro Universitário Cesumar
 Editora CESUMAR
 Maringá – Paraná – Brasil

1. INTRODUÇÃO

A preocupação ambiental vem crescendo nos últimos anos devido à conscientização do ser humano em relação à utilização dos recursos naturais, destacando-se o combate à poluição da água. Neste contexto, grande atenção tem sido dada aos efluentes contendo metais pesados, pois estes se destacam como potenciais agentes poluidores, por apresentarem diversos efeitos nocivos ao meio ambiente, como alterações físico-químicas da água, provocando a redução na qualidade, mortalidade da flora e da fauna e, conseqüentemente, prejuízos a saúde humana (Espinoza-Quiñones *et al* 2009a).

Dentre os metais contaminantes, o chumbo é um dos mais utilizados na indústria, podendo estar presente em efluentes líquidos provenientes de indústrias de tintura de têxteis, refino de petróleo, fabricação de baterias e operações de mineração (Freitas *et al.*, 2008; Espinoza-Quiñones *et al.*, 2009b).

Atualmente, métodos como precipitação química, separação por membranas, troca iônica e tratamento eletroquímico são os mais convencionais aplicados no tratamento de efluentes industriais contendo metais (Panayotova *et al.*, 2007; González-Muñoz *et al.*, 2006; Espinoza-Quiñones *et al.* 2009c; Módenes *et al.*, 2011). Entretanto, quando essas técnicas são aplicadas para o tratamento de baixas concentrações de metais, podem apresentar custo elevado e baixa eficiência (Módenes *et al.*, 2009; Módenes *et al.*, 2011)

Desta forma, faz-se necessário desenvolver métodos, de maneira a remover os metais em baixas concentrações. Dentre estas técnicas alternativas, para remoção de metais pesados, destaca-se a fitorremediação (Miretzky *et al.*, 2004; Espinoza-Quiñones *et al.*, 2009b). Este processo de adsorção consiste na remoção de metais pela biossorção nas raízes de plantas sendo, posteriormente, bioacumulados nas partes aéreas das plantas, empregando-se plantas como a macrófita aquática *Salvinia auriculata* (Espinoza-Quiñones *et al* 2009a).

No intuito de entender os processos de adsorção de metais pelas plantas, bem como a compreensão de como pode ser incrementada a eficiência de remoção, deve-se considerar a presença de outros elementos (macro ou micronutrientes) que possam interferir favorável ou desfavoravelmente na remoção/acumulação dos contaminantes, dentro de um meio hidropônico de cultivo (simulação de um ambiente natural). Neste sentido, este trabalho teve por objetivo avaliar a influência de um destes nutrientes no processo de bioacumulação do chumbo pela *S. auriculata*, sendo para tanto escolhido o macronutriente fósforo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 PREPARO DA SOLUÇÃO DE CULTIVO

A solução de cultivo da macrófita aquática *Salvinia auriculata* foi constituída de 5 litros de água destilada, macro e micronutrientes com a composição especificada para solução hidropônica de Clark (CLARK, 1975) e determinada concentração de Chumbo (0, 5, 10, 15 e 20 mg L⁻¹), obtida pela adição de alíquotas de solução de Pb(NO₃)₂ (1000 mg L⁻¹). O fósforo foi adicionado em quantidades variáveis (0, 1, 2, 4 e 8 vezes 3,2 mg L⁻¹) através da adição de ortofosfato de cálcio, mantendo-se os demais nutrientes em concentrações constantes.

2.2 EXPERIMENTO DE BIOACUMULAÇÃO

A macrófita aquática *Salvinia auriculata* foi coletada em lagoas, na cidade de Toledo - Pr. A biomassa foi lavada, e em seguida, retirado o excesso de água para, posterior, pesagem sendo então colocadas em cada recipiente contendo solução de cultivo, aproximadamente 80g da macrófita aquática viva e saudável. O cultivo da planta foi realizado dispendo os recipientes em casa de vegetação externa. Fez-se então, o acompanhamento do desenvolvimento da planta durante 32 dias, com coletas da solução e da *S. auriculata*, no 2º, 4º, 8º, 16º e 32º dias de cultivo.

No início e no término de cada ensaio, o pH da solução de cultivo foi aferido a fim de garantir que este estivesse na faixa de 3 à 4, para evitar a precipitação do metal. Outro parâmetro monitorado foi a temperatura da solução, sendo da mesma forma que o pH, medida antes e após o contato da solução com a biomassa.

Para cada combinação de concentração do chumbo e do fósforo, preparou-se cinco réplicas com as mesmas especificações, sendo que a cada coleta da biomassa e solução foi retirado um dos cinco recipientes do local de cultivo.

2.3 ANÁLISE SR-TXRF

Após o término de cada experimento, as plantas foram retiradas dos recipientes e colocadas a escorrer. Separou-se então, a parte aérea da submersa, ou seja, folhas e raízes, e cada uma das partes foi pesada. As macrófitas foram colocadas a secar em estufa a 40 °C por 120 horas. Após secas, tanto folha, como raiz foram trituradas separadamente.

Com a biomassa seca e moída, fez-se a digestão de 500 mg de macrófita e a esta adicionados 0,5 mL de peróxido de hidrogênio 35% (H₂O₂) e 5 mL de ácido nítrico 65% (HNO₃), mantendo-se a mistura em bloco digestor à 150 °C por 8 horas. Para uniformizar o resíduo da digestão, diluiu-se este para 10 mL com água ultra pura. A uma alíquota de 900 µL de amostra digerida foi adicionado 100 µL de solução padrão de Gálio (1000 mg L⁻¹), utilizado como padrão interno, resultando em uma concentração de 100 mg L⁻¹ de Ga.

Em seguida, prepararam-se os refletores de acrílico contendo as amostras, sendo estes previamente lavados com solução de ácido nítrico (10%), água destilada, secos e então pipetou-se no centro dos refletores 5 µL de amostra, com secagem da amostra em capela de fluxo laminar, isolados de contaminantes.

As amostras foram então analisadas pela técnica da fluorescência de raio X por Reflexão Total utilizando Luz Síncrotron (SR-TXRF), instalada na linha de luz D09-XRF, do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron - LNLS, localizado em Campinas - SP. A irradiação dos refletores-amostras ocorreu sob reflexão total por um feixe policromático de raio X, na faixa de 2 a 20 keV, extraído da fonte de Luz Síncrotron de 2,5 GeV. O feixe de raio X foi detectado utilizando-se um detector Si(Li), na linha espectral de Mn-K α , e um colimador de Tântalo. As amostras foram irradiadas com um tempo vivo de 100s. De cada acrílico-amostra foi gerado um espectro SR-TXRF, sendo as intensidades de pico das linhas K, L e M calculadas pelo ajuste dos espectros com o programa AXIL (3.6 version).

As concentrações elementares em solução aquosa (raízes e folhas secas digeridas) foram calculadas usando a equação (1). No entanto, fez-se necessária a determinação das concentrações elementares na planta, sendo realizada a conversão da concentração em fase líquida (mg L⁻¹) para concentração na fase sólida (mg g⁻¹), utilizando-se a equação (2). Neste cálculo, levou-se em conta a biomassa seca digerida (0,5 g) e o volume final de diluição (10 mL).

$$C_{FL}(mg.L^{-1}) = \frac{I_i}{I_{Ga}} \cdot \frac{C_{Ga}}{S(Z)} \quad (1)$$

$$C_{FS}(mg.g^{-1}) = C_{FL} \cdot \frac{V}{M} \quad (2)$$

onde I_i representa a intensidade fluorescente do elemento, C_{FL} a concentração do elemento na fase líquida, C_{Ga} a concentração do padrão interno Ga (100 mg L^{-1}), S a sensibilidade relativa do elemento, C_{FS} a concentração do elemento na fase sólida.

As intensidades fluorescentes dos elementos relativas ao padrão interno Gálio foram obtidas através dos espectros, e a sensibilidade relativa dos elementos obtidas através da construção de curvas de sensibilidade para a série K e L, representadas pelas equações (3) e (4), respectivamente.

$$S = \exp[-25,0666 + 1,5806Z - 0,0249Z^2] \quad (3)$$

$$S = \exp[-28,1613 + 0,6878Z - 0,00439Z^2] \quad (4)$$

2.4 MÉTODO COLORIMÉTRICO

Embora a técnica TXRF permita detectar o elemento fósforo, dada sua baixa sensibilidade nessa região do espectro, a concentração de fósforo total presente na *S. auriculata*, foi determinada pelo método colorimétrico com amarelo de vanadato, descrito por Malavolta et al. (1997).

Para determinação da concentração de fósforo na amostra, inicialmente fez-se a digestão nítrico perclórica das folhas e raízes da *S. auriculata*, consistindo em digerir 0,5 gramas de biomassa, com 6 mL de uma mistura de HNO_3 e HClO_4 na proporção de 2:1 (v/v). A digestão foi realizada em bloco digestor inicialmente a 160°C e após redução do volume pela metade, com acréscimo de temperatura para 210°C até obtenção de um extrato incolor. Ao resíduo da digestão adicionou-se água deionizada perfazendo 50 mL. As amostras foram analisadas em espectrofotômetro UV-Vis no comprimento de onda de 420 nm, sendo que estas consistiram de 1 mL do extrato, 4 mL de água destilada e 2 mL do reativo composto por parte iguais de solução de molibdato de amônio a 5% e metavanato de amônio a 0,25%. A concentração de fósforo foi correlacionada com uma curva padrão de dihidrogenofosfato de potássio (KH_2PO_4), sendo inicialmente determinada a concentração em $\mu\text{g P} / 5 \text{ mL}$ através da curva padrão, e conhecendo-se a concentração de fósforo para 5 mL, obteve-se então a quantidade de fósforo por grama de matéria seca, por meio da Equação (5).

$$C_p(mg.g^{-1}) = \frac{0,05.C(\mu\text{g} / 5\text{mL})}{M} \quad (5)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 COMPORTAMENTO DA BIOMASSA DURANTE O PERÍODO DE CULTIVO

Com o objetivo de analisar o comportamento da macrófita em relação ao metal chumbo, apresenta-se na Figura 1 a variação de massa da planta quando empregadas concentrações de Pb na solução de cultivo de 5, 10, 15 e 20 mg L^{-1} . Nesses ensaios, a concentração de P na solução constou de aproximadamente $3,2 \text{ mg L}^{-1}$ (definida pela Solução de Clark).

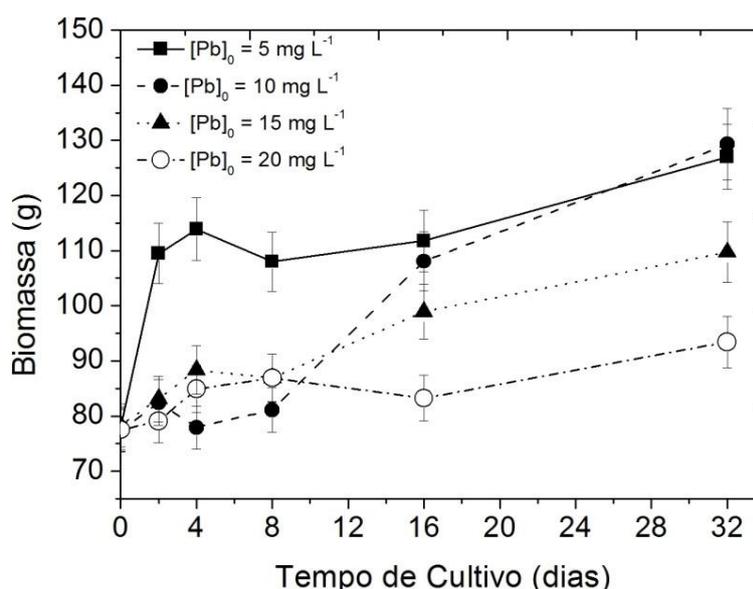


Figura 1. Comportamento da planta durante o período de cultivo para diferentes $[Pb]$ e com $[P]$ definida na solução de Clark.

Observa-se na Figura 1 que durante o tempo de cultivo (32 dias), partindo-se de uma biomassa semelhante no início do experimento nas diferentes concentrações de chumbo testadas, a planta exibiu uma taxa de crescimento superior para menores níveis de metal presentes no meio de cultivo (5 e 10 mg L⁻¹). Assim, pode-se sugerir que o aumento da concentração de chumbo na solução de cultivo promove uma redução no ganho de massa da *Salvinia auriculata*, evidenciando a toxicidade do metal para a mesma.

3.2 ANÁLISE DOS ESPECTROS SR-TXRF

A técnica de fluorescência de raios X por reflexão total, utilizada para determinação das concentrações elementares, gera espectros SR-TXRF. Fez-se uso então do programa AXIL para a detecção e quantificação dos elementos de interesse. Na Figura 2 apresenta-se um exemplo de espectro de folhas e raízes da planta, respectivamente.

Na análise destes espectros (Figura 2), constatou-se a presença de vários macro e micronutrientes naturalmente encontrados nas folhas e raízes de plantas. Dentre esses elementos, pode-se citar o fósforo, que é um elemento de interesse nesse estudo, assim como os nutrientes K, Ca e Fe. Também se observou a presença de Gálio, empregado como padrão interno das amostras, bem como de picos de chumbo, confirmando-se a adsorção do metal nas raízes (Figura 2 (a)) e folhas (Figura 2 (b)) da planta, quando este é disponibilizado na solução de cultivo.

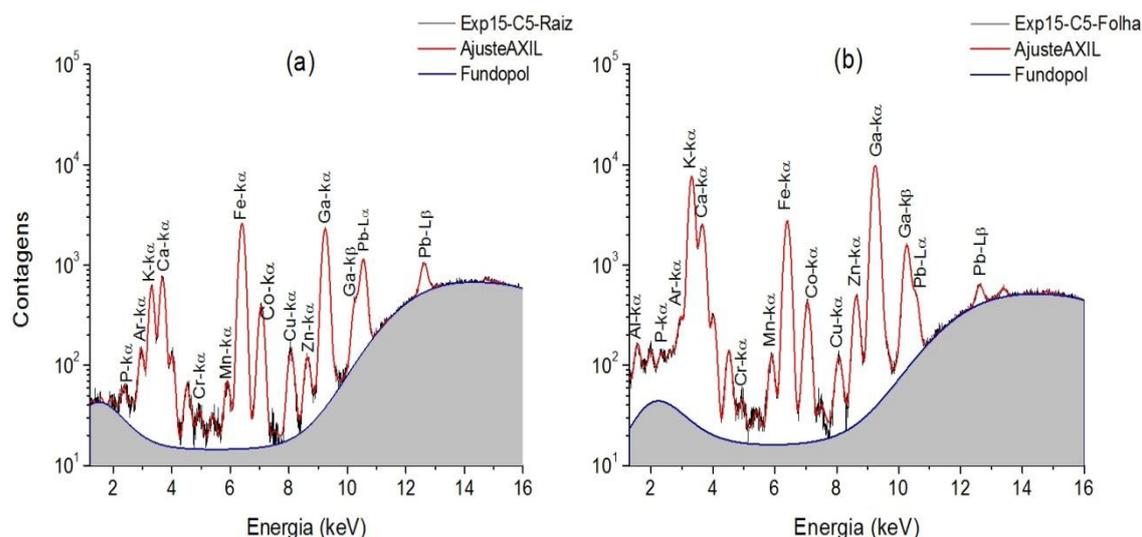


Figura 2. Espectros SR-TXRF para raízes (Figura 2 (a)) e folhas (Figura 2 (b)) da *S. auriculata*, cultivada em solução de Clark com fósforo em excesso ($[P] = 25,6 \text{ mg L}^{-1}$), com concentração de chumbo de 20 mg L^{-1} , durante 32 dias de cultivo

3.3 AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO FÓSFORO NA BIOACUMULAÇÃO DE CHUMBO NA *S. AURICULTA*

Para estudar a capacidade de adsorção/bioacumulação pela planta do metal pesado chumbo, analisou-se a Figura 3, a qual demonstra a influência do nutriente P no processo de remoção do Pb pela *S. auriculata*. Foi testada a concentração inicial de Pb em solução de 10 mg L^{-1} (Figura 3). A variação da concentração de Pb adsorvida nas raízes e folhas da macrófita ao longo do período de cultivo, foi avaliada empregando-se diferentes concentrações P na solução hidropônica.

Observa-se na Figura 3, que o aumento da concentração de P na solução de cultivo promoveu redução na capacidade de adsorção de Pb nas raízes (Figuras 3 (a)) e bioacumulação nas folhas da *S. auriculata* (Figuras 3 (b)). Entretanto, comparando concentrações de P superiores a duas vezes a concentração de P definida na solução de Clark ($3,2 \text{ mg L}^{-1}$), ou seja, quatro e oito vezes esta concentração, a redução na capacidade de adsorção do Pb não se mostrou muito expressiva. Assim, sugere-se que a disponibilização de menores concentrações de P para a planta propicia aumento na eficiência do processo de fitorremediação do Pb. Porém, como neste estudo trabalhou-se com a *S. auriculata* viva, deve-se atentar ao fato de que o P é um nutriente essencial para manutenção do metabolismo da planta, de forma que se houver falta deste elemento, poderá ocorrer redução no crescimento ou até mesmo a sua morte.

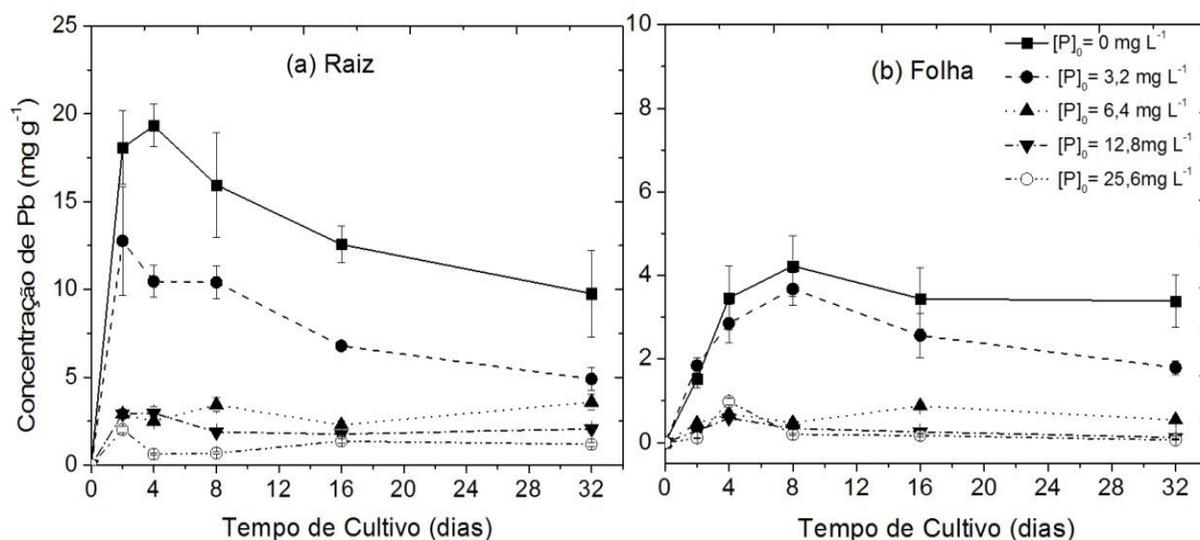


Figura 3 - Avaliação da concentração de Pb na *S. auriculata* em função do tempo de cultivo para $[Pb]_0 = 10 \text{ mg L}^{-1}$ e diferentes $[P]$ na solução de cultivo (a) Raiz (b) Folha.

Com base na Figura 3 foi possível avaliar ainda a cinética de adsorção do chumbo nas partes da planta. Na Figura 3 (a), observa-se que a adsorção do metal nas raízes é um processo rápido, com altos níveis de metal adsorvido com apenas dois dias de cultivo. No entanto, nas folhas da macrófita (Figura 3 (b)), a bioacumulação só se tornou expressiva após quatro dias de cultivo, caracterizando-se como um processo mais lento.

Assim verificou-se na Figura 3 que a concentração de chumbo atingiu seu ponto máximo em torno de quatro dias de cultivo e logo após este período, a concentração de metal passou por uma redução contínua. Este resultado sugere que após a adsorção nas raízes da planta, o metal passa a ser translocado para as folhas (bioacumulação), coincidindo com o período de aumento da concentração de chumbo na parte aérea da planta (Figura 3 (b)), atingindo logo em seguida a saturação. Porém, este comportamento foi observado somente para baixas concentrações de fósforo em solução, uma vez que em excesso de fósforo, a redução no acúmulo de chumbo foi significativa, e a concentração de metal manteve-se praticamente constante.

3.4 AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO CHUMBO NA ADSORÇÃO DO FÓSFORO NA *S. AURICULTA*

A análise da influência da concentração do chumbo na adsorção do fósforo pela macrófita aquática baseou-se nos dados apresentados na Figura 4. Avaliou-se a variação da concentração de P adsorvida nas raízes (Figura 4 (a)) e folhas (Figura 4 (b)) da macrófita ao longo do período de cultivo, empregando-se diferentes concentrações Pb na solução hidropônica.

Observa-se na Figura 4 (a), que a presença de Pb promoveu um aumento da concentração de P nas raízes da planta. Porém, a partir do 16º dia, houve um declínio na concentração de fósforo até o 32º dia. Na análise do comportamento do fósforo nas folhas da macrófita (Figura 4 (b)), verificou-se que na presença de Pb houve uma redução significativa da concentração de P para todas as concentrações do metal pesado testadas.

Partindo-se dessa avaliação, sugere-se que este comportamento na planta pode ser ocasionado por uma migração do P, naturalmente presente em maiores concentrações nas folhas, para raiz, formando um complexo com o Pb adsorvido, ficando

aderido nas células das raízes. Assim, haveria um possível impedimento no transporte do Pb para as folhas na presença de P em excesso (Figura 3 (b)). Isto seria ocasionado pela sua ligação com o P adsorvido na raiz em concentrações superiores ao requerido pela planta, reduzindo a concentração de P nas folhas, como visto na Figura 4 (b). Este comportamento ainda é complementado pelo aumento da concentração de P nas raízes da planta na presença de metal (Figura 4 (a)). Traçando um comparativo entre as Figuras 5 e 9, observa-se que o aumento contínuo da concentração de Pb na planta ocorreu simultaneamente à redução da concentração de P, sugerindo um relação desfavorável entre esses dois elementos.

Entretanto, não foi possível averiguar se há competição entre esses dois elementos durante o processo de adsorção pela *S. auriculata*. Neste sentido, sugere-se o emprego de técnicas mais adequadas para quantificação do P, bem como o estudo mais aprofundado dos mecanismos de transporte e armazenamento do P e Pb na estrutura interna da planta. Outra sugestão seria a averiguação da substituição do Pb nos sítios de ligação do P.

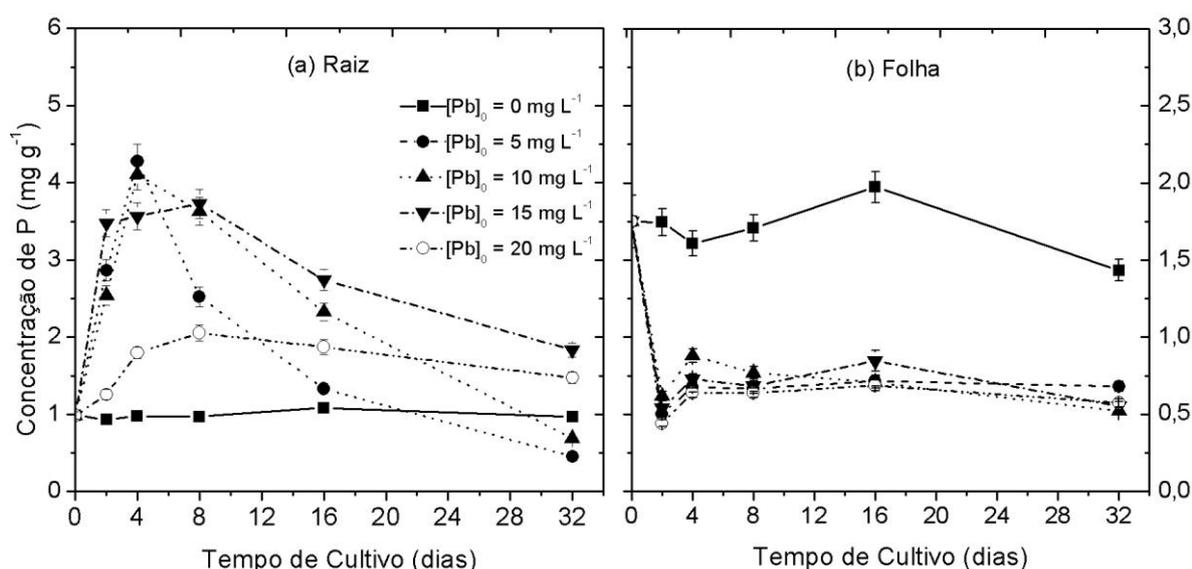


Figura 4. Avaliação da concentração de P na *S.auriculata* em função do tempo de cultivo para diferentes concentrações de Pb na solução de cultivo (a) Raiz; (b) Folha.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível concluir neste estudo que o metal pesado chumbo tem influência prejudicial no crescimento da macrófita *Salvinia auriculata*, uma vez que a planta apresentou baixas taxas de crescimento quanto maior for a concentração do metal na solução de cultivo. Pode-se observar também que houve um ligeiro aumento de pH durante o processo de biossorção/bioacumulação. Baseado nos resultados obtidos, observou-se que houve redução da concentração de P nas partes da planta e aumento simultâneo de Pb, sugerindo-se uma possível relação entre o macronutriente e o metal no processo de bioacumulação na macrófita. De forma geral, pôde-se concluir uma relação desfavorável na fitorremediação do chumbo na *S. auriculata* em função da presença de concentrações de fósforo na solução de cultivo em níveis mais altos do que o requerido pela planta.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CLARK, R. B.; **Characterization of phosphates in intact maize roots**. Journal Agriculture Food Chemistry; v. 23; p. 458-460; 1975.
- ESPINOZA-QUIÑONES, F.R., MÓDENES, A.N., PALÁCIO, S.M., TRIGUEROS, D.E.G., KROUMOV, A.D., SYMANSKI, N., COSTA JR., I. L., SILVA, E.A; **Kinetics of Lead Bioaccumulation from a Hydroponic Medium by Aquatic Macrophytes Pistia stratiotes**, Water Air Soil Pollut.; v. 203; p. 29–37; 2009a.
- ESPINOZA-QUIÑONES, F.R., MÓDENES, A.N., THOMÉ, L.P., PALÁCIO, S.M., TRIGUEROS, D.E.G., OLIVEIRA, A.P., SZYMANSKI, N.; **Study of the bioaccumulation kinetic of lead by living aquatic macrophyte Salvinia auriculata**. Chemical Engineering Journal; v. 150; p. 316–322; 2009b.
- ESPINOZA-QUIÑONES, F.R., MARTIN, N., STUTZ, G., TIRAO, G., PALÁCIO, S.M., RIZZUTTO, M.A., MÓDENES, A.N., SILVA JR, F.G., SZYMANSKI, N., KROUMOV, A.D.; **Root uptake and reduction of hexavalent chromium by aquatic macrophytes as assessed by high-resolution X-ray emission**, Water Research; v. 43; p. 4159 – 4166; 2009c.
- FREITAS, O. M. M.; MARTINS, R. J. E.; DELERUE MATOS, C. M.; BOAVENTURA, R. A. R.; **Removal of Cd(II), Zn (II), and Pb (II) from aqueous solutions by brown marine macro algae: kinetic modeling**. J. Hazard. Mater; v. 153; p. 493-501; 2008.
- GONZÁLEZ-MUÑOZ, M.J., RODRÍGUEZ, M.A., LUQUE, S., ALVAREZ, J.R.; **Recovery of heavy metals from metal industry waste waters by chemical precipitation and nanofiltration**; Desalination; v. 200; p. 742–744; 2006.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. (1997). **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2a Edição, Piracicaba.
- MIRETZKY, P., SARALEGUI, A., CIRELLI, A.F.; **Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals (Buenos Aires, Argentina)**, Chemosphere; v. 57; p. 997–1005; 2004.
- MÓDENES, A.N., ESPINOZA-QUIÑONES, F.R., TRIGUEROS, D.E.G., LAVARDA, F.L., COLOMBO, A., MORA, N. D.; **Kinetic and equilibrium adsorption of Cu(II) and Cd(II) ions on Eichhornia crassipes in single and binary systems**, Chem. Eng. J.; p. 44-51; 2011.
- PANAYOTOVA, T., DIMOVA-TODOROVA, M., DOBREVSKY, I.; **Purification and reuse of heavy metals containing wastewaters from electroplating plants**, Desalination; v. 206; p. 135–140; 2007.