

Eficiência de diferentes macrófitas aquáticas em tratamento de águas contaminadas pelo arsênio

Edilayne Cristina Santos⁷, Priscila Mayrink de Miranda, Marcela Menezes, Maria Cláudia Feres Monteiro de Castro, José Fernando Paiva, Vera Lúcia de Miranda Guarda

*E-mail: santosedilayne@yahoo.com.br

Resumo

A água é um bem precioso e cada vez mais leva a debates no mundo todo. O consumo humano da água está limitado atualmente pela degradação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, que sofrem inúmeras contaminações, entre elas, pelo lançamento de esgoto sem tratamento. A poluição das águas por arsênio e metais pesados é um dos maiores problemas do mundo moderno, e macrófitas aquáticas têm sido utilizadas em sua remoção, devido a uma rápida e intensa absorção de nutrientes e poluentes. Seu rápido crescimento e a facilidade de sua retirada das lagoas perturba menos o ambiente, além de ser mais econômico quando comparado com outros métodos tradicionais. Nesse intuito, foi avaliado o crescimento de quatro espécies de macrófitas: *Spirodela intermedia*, *Lemna minuta*, *Salvinia auriculata* e *Mayacacia sp.* As duas primeiras espécies apresentaram as melhores curvas de crescimento, pois absorvem mais poluentes, assim sendo, foram utilizadas na pesquisa de absorção de arsênio nos pHs 5,5 e 7,0. O teor de arsênio foi avaliado em solução contendo arsênio e na biomassa da macrófita. Para a análise da solução, amostras contendo arsênio foram retiradas em tempos pré-estabelecidos, e, para a análise da biomassa das macrófitas, as plantas foram secas em estufa e depois digeridas. O teor de arsênio nesses experimentos foi analisado pelo método de voltametria de onda quadrada sobre eletrodo de mercúrio. Assim sendo, verificou-se, através das análises das curvas de crescimento e das estatísticas, que a espécie *Spirodela intermedia* apresentou o melhor perfil de absorção de arsênio, independentemente do pH.

Palavras chaves: Macrófitas aquáticas, fitorremediação, tratamento de água, arsênio.

⁷ Mestranda do Programa Engenharia Ambiental

Efficiency of different aquatic macrophytes in the treatment of water contaminated by arsenic

Abstract

The water is a precious good and each time more takes the debates in the world all. The human consumption of the water is limited currently by the degradation of the quality of the superficial and underground waters, that suffers contamination for the sewer that they are launched without treatment. The pollution of waters for Arsenio and metals heavy is one of the biggest problems of the modern world and aquatic macrophytes they have been used in its removal due to an intense absorption of nutrients and pollutants and its fast growth and the easiness of its withdrawal of the lagoons, and also and a method that little disturbs the economic environment and. In this intention, the growth of four species of macrophytes was evaluated: *Spirodela intermedia*, *Lemna minuta*, *Salvinia auriculata* e *Mayacacia sp* The two first species presenting the best curves of growth had been used in the research of absorption of Arsenio in pHs 5,5 and 7,0. Samples of the solution I contend Arsenio had been removed in preset times. The Arsenio text was after analyzed in this solution and the macrophytes. digestion, having used Voltametria de Square shaped Onda on Mercury electrode *Spirodela intermedia* species presented optimum profile of absorption of Arsenio, independent of pH.

Keywords: Arsenic, wastewater treatment, phytoremediation, *aquatic* macrophytes.

Resumen

El agua es un bien precioso y cada vez más lleva a debates en todo el mundo. El consumo humano del agua está limitado actualmente por la degradación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, que sufren numerosas contaminaciones, entre ellas, por el desagüe que se lanzan en estas aguas, sin tratamiento. La contaminación de las aguas por arsénico y metales pesados es uno de los mayores problemas del mundo moderno y macrófitas acuáticas han sido utilizadas en su remoción debido a una rápida e intensa absorción de nutrientes y contaminantes. Su rápido crecimiento y la facilidad de su retirada de las lagunas perturba menos el ambiente y además de ser más económico cuando se compara como los otros métodos tradicionales. En este sentido, se evaluó el crecimiento de cuatro especies de macrófitas: *Spirodela intermedia*, *Lemna minuta*, *Salvinia auriculata* y *Mayacacia sp*. Las dos primeras especies presentaron las mejores curvas de crecimiento, pues consecuentemente absorben más contaminantes, así que fueron utilizadas en la investigación de absorción de arsénico en los pHs 5,5 y 7,0. El contenido de arsénico fue evaluado en solución que contenía arsénico y en la biomasa de la macrófita. Para el análisis de la solución, muestras de ésta conteniendo arsénico, fueron retiradas en tiempos preestablecidos y para el análisis de la biomasa las macrófitas, ellas fueron secas en invernadero y después digeridas. El contenido de arsénico en estos experimentos fue analizado por el método de Voltametría de Onda cuadrada sobre electrodo de Mercurio. Así se verificó a través de los análisis de las curvas de crecimiento de los análisis estadísticos que la especie *Spirodela intermedia* presentó el mejor perfil de absorción de arsén, independientemente del pH.

Palabras claves: Macrófitas acuáticas, fitorremediación, tratamiento de agua, arsénico.

INTRODUÇÃO

Neste novo milênio temos um grande desafio: evitar a falta de água. A água é um bem cada dia mais escasso e necessário, sendo tema polêmico no mundo todo. A revista *Science* (julho de 2000) mostrou que aproximadamente dois bilhões de habitantes enfrentam a falta de água no mundo. Os continentes mais atingidos por esse problema são: África, Ásia Central e Oriente Médio. A água para o consumo humano está limitada atualmente pela degradação da sua qualidade; sejam elas superficiais ou subterrâneas, sofrem inúmeras contaminações naturais e antropogênicas.

Como forma de reversão das degradações desse recurso natural, diversos processos podem ser utilizados no tratamento de águas residuais poluídas, principalmente em estações de tratamentos de água (ETA) ou de esgoto (ETE), quais sejam: filtração em diferentes meios porosos, flotação, métodos eletroquímicos e uso de plantas aquáticas, que representam alternativas para a remoção de metais e outros poluentes. Alguns desses métodos têm custos elevados e também podem causar algum dano ambiental. Diante dessa situação, em anos mais recentes passou-se a dar preferência aos métodos que perturbem menos o ambiente e que sejam mais econômicos, como a fitorremediação.

Esse método é uma alternativa capaz de empregar sistemas vegetais com o objetivo de descontaminar ambientes degradados ou poluídos, e, *in situ*, perturba menos o ambiente e é mais econômico (CUNNINGHAM, 1996). Um dos ramos da fitorremediação é a utilização de macrófitas aquáticas como agentes purificadores, devido a sua intensa e rápida absorção de nutrientes e poluentes. Algumas das vantagens de sua utilização são: o seu rápido crescimento, a facilidade de sua retirada das lagoas e as amplas possibilidades de utilização de sua biomassa.

Esse sistema vegetal representa um dos principais componentes do ecossistema. Os autores que citaram o termo “macrófitas aquáticas” pela primeira vez foram Weaver e Clement em 1938, definindo-as como “plantas herbáceas que crescem na água e em solos cobertos ou saturados com água”. Bioindicadoras da qualidade de água, sua produção de biomassa ajuda na redução da turbulência, na reciclagem de nutrientes, na produção de matéria orgânica e representa um importante papel no controle de vetores de doenças de veiculação hídrica (COOK, 1996; PEDRALLI, 1990). Essas plantas são muito sensíveis aos diferentes tipos de alteração do meio ambiente aquático. Sua capacidade de reter diferentes tipos de contaminantes possibilita a sua utilização como indicadoras de descargas intermitentes, que, em muitos casos, não são detectadas através de análises químicas de rotina (RUSANOWSKI, 1984).

A utilização de macrófitas aquáticas como agente purificador se deve a sua intensa absorção de nutrientes e poluentes, como, por exemplo, os metais pesados (GLASS, 1998). Nesse contexto, o estudo de espécies de macrófitas potenciais bioindicadoras ou fitorremediadoras de ambientes poluídos por arsênio torna-se importante. Várias macrófitas aquáticas têm sido estudadas e sugeridas como alternativas para solução de problemas de contaminação ambiental, para avaliar a qualidade da água, monitorar metais pesados e outras aplicações (DEMBITSKY; REZANKA, 2003).

Metal pesado é um termo aplicado a metais e metaloides que apresentam densidade (d) maior que 6g/cm^3 (ALLOWAY, 1993). Neste grupo, são incluídos alguns metais que possuem densidade menor, como o arsênio ($d = 5,73\text{g/cm}^3$), pois mesmo em baixas concentrações produzem efeitos tóxicos aos seres que se encontram no ambiente contaminado.

O presente trabalho visa avaliar a taxa de crescimento de quatro espécies de macrófitas aquáticas das famílias *Mayacaceae* e *Salvinaceae* e duas espécies da família *Lemnaceae* em condições laboratoriais nos pHs 5,5 e 7,0, considerados adequados para manter o arsênio em sua forma mais oxidada. As duas espécies que apresentaram maior índice de adaptação e crescimento foram selecionadas para a avaliação da sua capacidade de absorção e bioacumulação de arsênio e, conseqüentemente, do seu potencial para o uso em despoluição de ambiente aquático contaminado por esse metal.

MATERIAIS E MÉTODOS

Coleta e identificação das macrófitas aquáticas

Para o estudo foram utilizadas quatro espécies de macrófitas aquáticas, sendo duas delas obtidas na região de Ouro Preto (MG) e as outras duas da região do Pantanal.

A macrófitas do gênero *Mayacacia* e a espécie *Salvinia auriculata* (*Salvinaceae*) foram coletadas, respectivamente, em uma das lagoas do Parque Estadual do Itacolomy e na Reserva Ecológica do Tripuí, ambas na região de Ouro Preto (MG). As duas plantas foram identificadas pelo técnico do Herbário José Badini, do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB) da UFOP. Não foi possível identificar a espécie a que pertence a macrófita do gênero *Mayacacia*.

Já as espécies *Spirodela intermedia* e *Lemna minuta* (*Lemnaceae*) são da região do Pantanal, e foram coletadas, enviadas e identificadas pela pesquisadora da Embrapa Vali Joana Pott. Exsiccatas dessas plantas foram depositadas no Herbário José Badini do ICEB/UFOP.

Adaptação das macrófitas

Imediatamente após o recebimento das macrófitas, elas foram limpas e aclimatadas em solução nutritiva de Hoagland nº 1 (HOAGLAND & ARNON, 1950) adaptado, com 1/5 da força iônica original, mantendo-se pH 7,0, sob temperatura (25°C), com aeração e luminosidade (800 lúmens) controladas durante dez dias em uma bandeja não transparente.

Crescimento das macrófitas

Logo após sua adaptação, as macrófitas foram deixadas na solução nutritiva até a obtenção de um crescimento em comunidade, por aproximadamente vinte dias, para a realização dos próximos experimentos.

Em seguida, foi feito o seguinte experimento com cada espécie, simultaneamente e individualmente: foi colocado um 1g de massa fresca de cada espécie em 25 recipientes não transparentes, contendo, cada um deles, 500ml da solução de Hoagland nº 1. Nesse ensaio foi analisada qual planta apresenta a maior curva de crescimento.

O experimento teve a duração de dez dias, sendo que foram coletados cinco potes a cada dois dias. Logo após a retirada, toda a água/solução foi eliminada e o excesso removido com papel toalha. Na sequência, as plantas foram pesadas e, então, foram submetidas a secagem em estufa a 70°C até obtenção de massa seca constante. Os dados obtidos de massa fresca depois da secagem foram utilizados para análise do crescimento das plantas em comunidade nas condições experimentais.

Testes de absorção de arsênio em pH 5,5 e 7,0.

Para verificar a eficiência do processo de absorção e adsorção, 5g de massa fresca das espécies que apresentaram melhor crescimento foram colocadas em solução nutritiva de Hoagland nº 1 com concentrações de 15mg/l(5000 ppb) de arseniato de sódio ($\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), o equivalente a 5mg/l(1500 ppb) de arsênio. Os experimentos foram conduzidos em triplicatas, em dois pHs diferentes, 5,5 e 7,0, com aeração diária durante duas horas. Simultaneamente, utilizou-se um controle, sem adição desse elemento. Antes da introdução das plantas na solução, uma alíquota de 2,0ml foi retirada de cada pote para verificar a concentração inicial de arsênio. A seguir, foram retiradas alíquotas de 2,0ml de cada meio a cada quatro horas, no primeiro dia, e, a partir do segundo dia, a amostragem foi diária, durante os dez dias de exposição. A cada dois dias, o pH do meio de cada experimento foi conferido e, de acordo com a necessidade, corrigido. Cada alíquota retirada foi identificada e armazenada em geladeira para posterior análise.

Preparo das amostras para análise

Ao final do experimento de absorção e adsorção, as plantas foram recolhidas, lavadas com solução de ácido nítrico 1% para remover o arsênio situado na sua superfície e secas em estufa a 70°C até peso constante. Depois, foram identificadas e guardadas em local sem umidade.

Para a análise da quantidade de arsênio na biomassa, foi utilizado o método 3052-*Microwave Assisted Acid Digestion of Siliceous and Organically Based Matrices* WS EPA 1996, que se realizou da seguinte forma: em tubos de teflon para micro-ondas, 0,2g das plantas secas e inteiras foram pesadas e 5,0ml de ácido nítrico (67%) e 2ml de peróxido de hidrogênio (30%) p/p foram adicionados; a mistura foi deixada em repouso, em pré-digestão a frio, por 24 horas; a seguir, colocou-se a mistura em prato giratório até oxidação total (solução límpida); após a digestão, os tubos de teflon foram lavados com água milli-Q (ultrapura) e aferidos em balão volumétrico de 10ml.

Para a análise da quantidade de arsênio nas alíquotas, foi adicionado, em um balão volumétrico de 10ml: 0,666ml das amostras da alíquota com arsênio; 1,67ml de ácido clorídrico 6M; 0,1 ml de tiosulfato de sódio 0,32M; 0,060ml de cloreto de cobre II 50g/L. Completou-se o volume do balão volumétrico com água milli-Q.

Nas alíquotas, a concentração inicial do $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ foi de 15mg/L (5000ppb), obtendo-se uma concentração de 5mg/L (1500ppb) de arsênio. A calibração do aparelho foi realizada na faixa de 2,5 a 100ppb de As. As alíquotas foram diluídas 15 vezes, se enquadrando, assim, dentro dessa faixa de concentração. As amostras foram analisadas em um polarógrafo METROHM Computrace, por voltametria de onda quadrada sobre eletrodo de mercúrio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

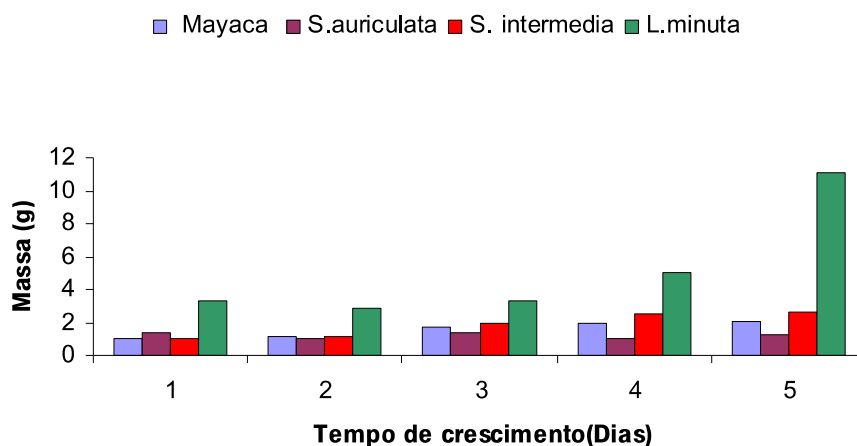
Avaliação do crescimento das plantas

A taxa de crescimento de *Spirodela intermedia*, *Lemna minuta*, *Mayacacia* e *Salvinia auriculata* foi avaliada, individualmente, em relação às massas frescas. Os resultados encontrados foram expressos por massa em grama *versus* crescimento da macrófita por dia (Gráfico 1).

A espécie *Spirodela intermedia* não demonstrou uma taxa de crescimento considerável do primeiro ao quarto dia, mas uma taxa de crescimento expressiva foi observada do quinto

ao oitavo dia. No caso da espécie *Lemna minuta*, a taxa de crescimento foi gradativa até o sexto dia, a partir de quando se observaram apenas picos de crescimento. A espécie *Mayacacia* mostrou uma taxa de crescimento regular, porém de baixa intensidade. A *Salvinia auriculata* apresentou pequenos picos de crescimento no sexto e décimo dias de cultivo, intercalados com baixas de crescimento no quarto e no oitavo dia.

Gráfico 1 - Determinação da massa fresca das espécies em função do tempo de exposição em solução de Hoagland nº 1- água (1:5)



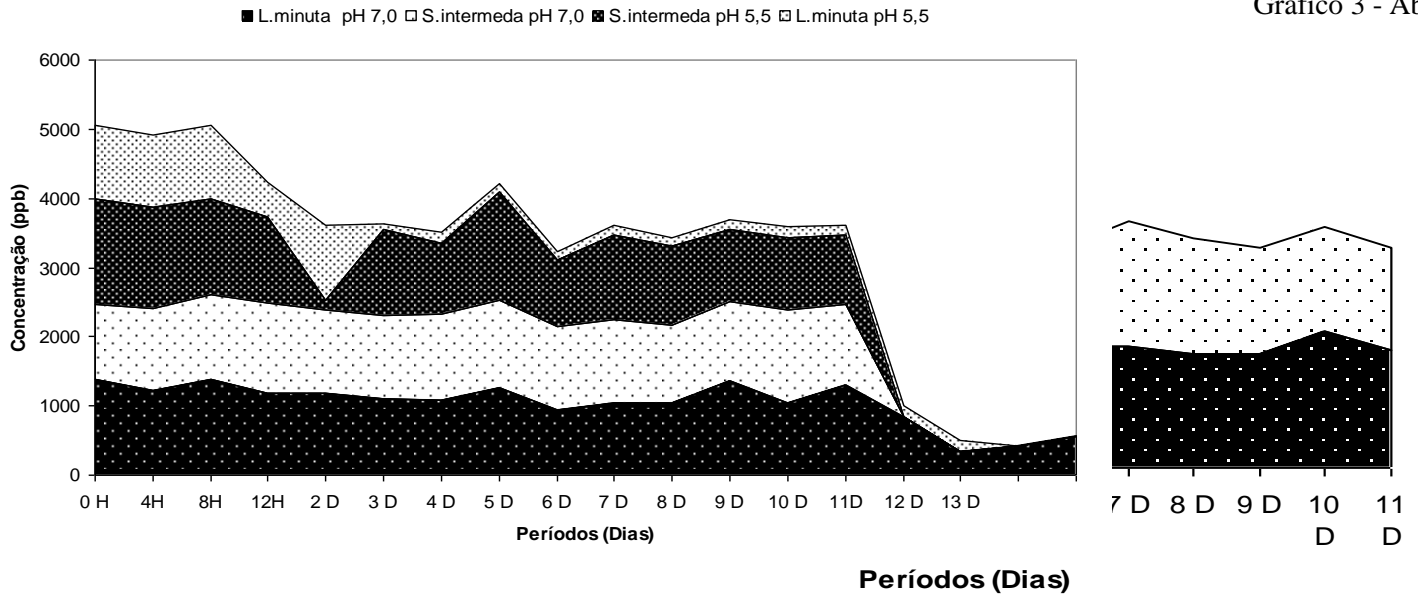
O crescimento rápido e a grande produção de biomassa em curto intervalo de tempo são pré-requisitos para seleção e utilização de plantas em estudos de fitorremediação (PILON-SMITS e PILON, 2002; LASAT, 2002; ADLER *et al.*, 2003; PILON-SMITS, 2005). Analisando o gráfico de crescimento, verificou-se que entre as quatro espécies submetidas ao teste, as espécies *Spirodela intermedia* e *Lemna minuta* apresentaram taxa de crescimento mais significativa quando comparadas com a família *Mayacacia* e a espécie *Salvinia auriculata*. Neste experimento aconteceu o contrário de Finlayson (1984) no estudo de estabilização de uma lagoa na Austrália, que observou altas taxas de crescimento específico em reduzido tempo de duplicação (2,7 dias) para uma espécie de *Salvinia*. No entanto, as espécies *Spirodela intermedia* e *Lemna minuta* foram selecionadas para a realização dos experimentos, conforme os dados obtidos nesse trabalho.

AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ARSÊNIO PELAS MACRÓFITAS

O Gráfico 2 apresenta o resultado geral da acumulação de arsênio pelas espécies *Spirodela intermedia* e *Lemna minuta* nos pHs 5,5 e 7,0. O acúmulo de arsênio pela *Spirodela*

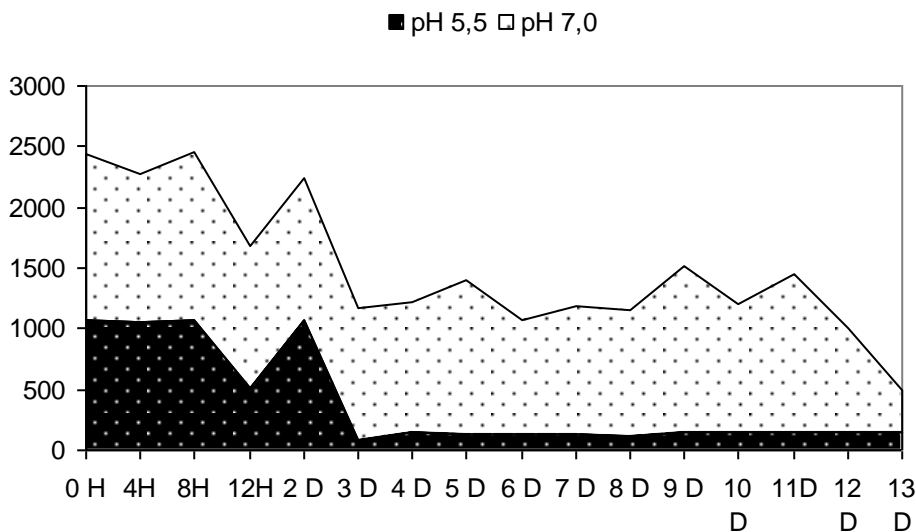
intermedia em pH 5,5 e 7,0 mostrou pequenas variações durante todo o experimento (Gráfico 3).

Gráfico 2 - Absorção de arsênio por *L. minuta* e *S. intermedia*, em pH 5,5 e 7,0



A absorção do arsênio pela *Lemna minuta* em pH 7,0 mostrou uma grande variação durante todo o experimento. No pH 5,5, pela característica da curva, pode-se inferir que no terceiro dia a absorção de arsênio atingiu o ponto máximo de absorção (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Absorção de arsênio por *Lemna minuta* em pH 5,5 e 7,0



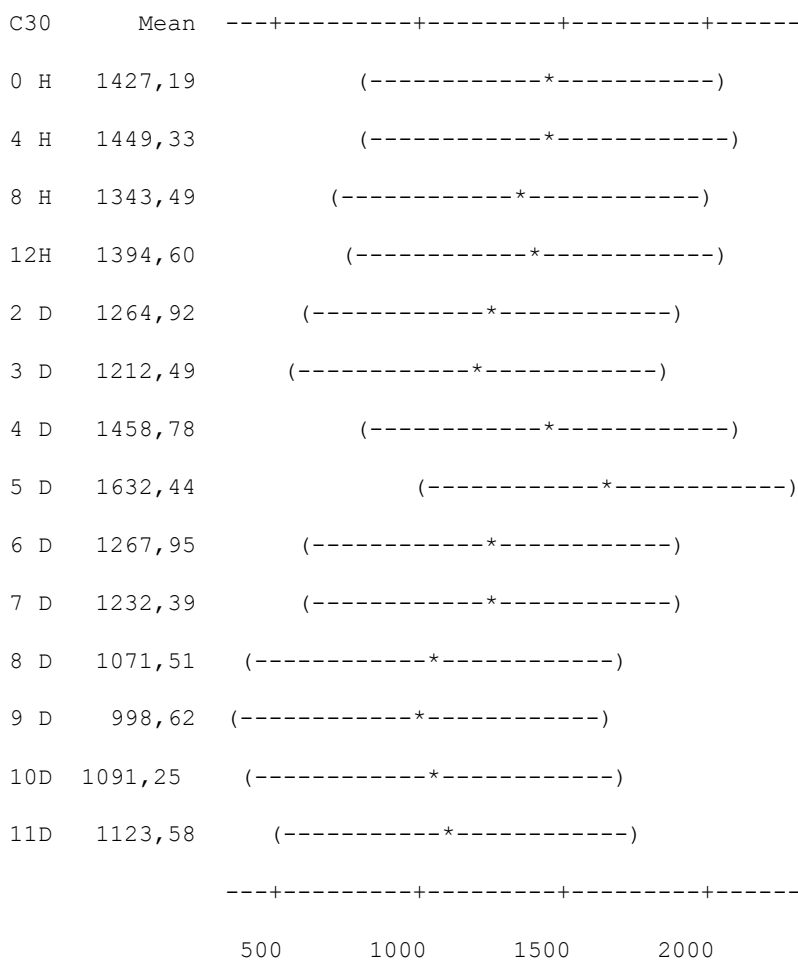
A análise estatística pela metodologia Two-way Anova comparando a absorção nos pHs 5,5 e 7,0 para a espécie *Spirodela intermedia* mostrou como resultado um P maior de

0,929 para a fonte de variação pH e um P maior de 0,964 para a fonte de variação tempo. Verificou-se, então, que não há diferença significativa de absorção nos diferentes pHs e nas diferentes amostras (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise estatística para a espécie *Spirodela intermedia*

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	P maior
Tempo	13	826896	63607	0,35	0,964
pH	1	1467	1467	0,01	0,929
Erro	13	2330487	179268		
Total	27	3158850			

Figura 1 - Estatística da comparação da média da absorção da *Spirodela intermedia* em pH 5,5 e pH 7,0 (Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev)

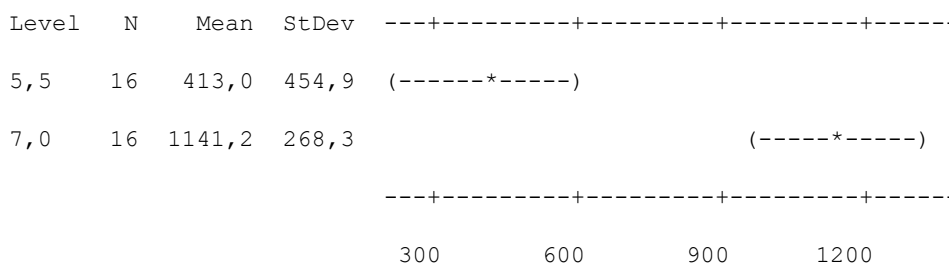


A análise estatística pela metodologia Two-way Anova comparando a absorção nos pHs 5,5 e 7,0 para a espécie *Lemna minuta* apresentou como resultado um P maior de 0,000 para a fonte de variação pH e um P maior de 0,128 para a fonte de variação tempo. Verificou-se, então, que há diferença significativa de absorção nos diferentes pHs e nas diferentes amostras (Tabela 2). A absorção do arsênio é melhor em pH 5,5.

Tabela 2 - Análise estatística para a espécie *Lemna minuta*

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	P maior
Tempo	15	2701858	180124	1,82	0,128
pH	1	4242432	4242432	42,94	0,000
Erro	15	1481822	98788		
Total	31	8426112			

Figura 2 - Estatística da comparação da média da absorção da *Lemna minuta* em pH 5,5 e pH 7,0 (Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev)



Teor de arsênio na biomassa

Para avaliar o teor de arsênio na biomassa da *Spirodela intermedia* e da *Lemna minuta*, calculou-se inicialmente a diferença entre os teores inicial e final de arsênio na solução. O experimento com *Lemna minuta* foi feito apenas em duplicada, devido ao fato de esta planta apresentar um tamanho reduzido, conseguindo ter um bom crescimento, porém não formando uma quantidade expressiva para o experimento.

No experimento da macrófita aquática *Spirodela intermedia* em pH 5,5, os teores de arsênio acumulados na biomassa em A, B e C foram, respectivamente, 784,48ppb de As, 343,08 ppb de As e 330,0ppb de As.

Comparando os teores de arsênio acumulados na biomassa (760,58) e a diferença da solução final e inicial (784,48ppb de As), no experimento 1A verificou-se que os resultados são compatíveis, ou seja, o teor de arsênio acumulado pela planta é semelhante à diferença entre as concentrações inicial e final.

Nos experimentos 1B e 1C verifica-se uma diferença entre os teores acumulados na biomassa, 694,63ppb e 711,04ppb, e o que restou na solução, 343,08ppb e e 330,1ppb, respectivamente. Pode ter ocorrido uma lavagem com ácido nítrico 1% não adequada, de modo que o arsênio adsorvido pela raiz não foi retirado.

Tabela 3 - Comparação dos teores de arsênio na solução e na biomassa

MACRÓFITAS E SEUS PHIS	AMOSTRA	CONCENTRAÇÃO INICIAL - (CI) µg/L.	CONCENTRAÇÃO FINAL - (CF) µg/L.	CF - CI µg/L.	CONCENTRAÇÃO BIOMASSA µg/L.	PORCENTAGEM ACUMULAÇÃO µg/L.
<i>Spirodela intermedia</i> pH 5,5	1 A	1835,38	1050,9	784,48	760,58	41,43 %
	1 B	1333,98	990,9	343,08	694,63	52,02 %
	1 C	1430	1100	330,0	711,04	49,72 %
<i>Spirodela intermedia</i> pH 7,0	1 A	1019	419,0	600,00	550,60	54,00 %
	1 B	1090	535,0	550,00	516,70	47,00 %
	1 C	1141,7	551,0	590,00	559,88	48,81 %
<i>Lemna minuta</i> pH 5,5	1 A	721,11	556,63	164,48	175,75	24,00 %
	1 B	666,08	474,53	191,55	150,64	22,00 %
<i>Lemna minuta</i> pH 7,0	1 A	1430,18	774,69	665,49	689,50	48,21 %
	1 B	1319,64	342,49	995,15	603,07	45,00 %

No experimento com a macrófita *Spirodela intermedia* em pH 7,0, os teores de arsênio acumulados na biomassa e na solução foram: em A, 550,60ppb e 600,00 ppb; em B,

516,70ppb e 550,0ppb; em C, 559,00ppb e 590,00ppb. Verificou-se uma compatibilidade entre os resultados, ou seja, o resultado encontrado na biomassa foi o mesmo encontrado na solução.

O experimento com *L. minuta* em pH 5,5 apresenta teores de arsênio na solução de 164,48ppb de As e 191,55 de As para os experimentos A e B, respectivamente. Comparando-se os teores de arsênio acumulado na biomassa (175,75ppb de As) e a diferença da solução (164,48ppb de As) no experimento 1^a, bem como os teores de arsênio acumulado na biomassa (150,64 de As) e a diferença da solução (191,55ppb de As) no experimento 1B, verificou-se que ambos os resultados são compatíveis.

O experimento com *L. minuta* em pH 7 apresenta teores de arsênio na solução de 655,49ppb de As e 995,15ppb de As para os experimentos A e B, respectivamente. Comparando-se os teores de arsênio acumulado na biomassa (689,50ppb de As) e a diferença da solução (655,49ppb de As) no experimento 1^a, verifica-se que os resultados são compatíveis. No entanto, para o experimento 1B houve diferença entre os valores acumulados na biomassa (603,07ppb de As) da solução (995,15ppb de As). De acordo com os resultados, a planta deveria ter absorvido mais arsênio. Isso sugere que o arsênio poderia estar fixado nas raízes, se perdendo por ocasião da lavagem com ácido nítrico a 1%.

De uma maneira geral, os resultados obtidos indicam que o que foi encontrado na solução foi o mesmo encontrado na biomassa da planta. A literatura mostra que o arsênio pode ser absorvido (GRAEME e POLLACK, 1998; LASAT, 2002; DEMBITSKY e REZANKA, 2003; AKSORN e VISOOTIVISETH, 2004; MKANDAWIRE e DUDEL, 2005) e/ou adsorvido (ZAYED *et al.*, 1998; QIAN *et al.*, 1999; ZHU *et al.*, 1999). Essa propriedade justifica as variações obtidas na quantificação do arsênio durante o experimento.

Vários estudos têm demonstrado que as macrófitas aquáticas, em especial espécies dos gêneros *Lemna* e *Spirodela*, são consideradas ótimos filtros biológicos (SUTTON e ORNES, 1975), com um potencial muito grande para remoção de contaminantes do meio, como foi confirmado no presente trabalho quanto à *Spirodela intermedia*, ao contrário da *Lemna minuta*.

Sabe-se que a família *Lemnaceae* possui grande potencial para ser utilizada em processos biotecnológicos (LANDOLT, 1987), incluindo a remoção de nutrientes ou metais pesados da água (FUJITA, 1999) e o uso em tratamentos de água (BERGMANN, 2000),

podendo, com isso, ser empregadas em fitorremediação de áreas contaminadas. Destaca-se a família *Lemnaceae*, objeto deste trabalho, como uma boa acumuladora de arsênio, em especial a espécie *Spirodela intermédia*.

Estudos que utilizem *Lemnaceae* como bioindicadoras também são importantes, uma vez que o emprego de espécies vegetais como bioindicadoras de poluentes, *in situ*, na avaliação dos níveis de poluição, tem vantagens em relação aos métodos físico-químicos, devido à redução significativa dos custos. Além disso, as espécies vegetais, por constituírem parte do meio ambiente biológico, são influenciadas pelos poluentes e suas reações podem ser avaliadas (ESTEVES, 1998).

REFERÊNCIAS

- ADLER, P. R., SUMMERFELT, S. T., GLENN, D. M., & TAKEDA, F. 2003. **Mechanistic approach to phytoremediation of water**. *Ecological Engineering* 20:251-264.
- AKSORN, E. & VISOOTTIVESETH, P. 2004. **Selection of suitable emergent plants for removal of arsenic from arsenic contaminated water**. *Science Asia* 30:105-113.
- ALLOOWAY, B. J. 1993. *Heavy Metals in Soil*. John Willy e Sons Inc. New York. 553p.
- AXTELL, N. R., STERNBERG, S. P. K., E CLAUSSEN, K. 2003. **Lead and nickel removal using *Microspora* and *Lemna minor***. *Bioresource Technology*, 89:41-48.
- BERGMANN B. A., *et al.* **In vitro selection of duckweed geographical isolates for potential use in swine lagoon effluent renovation**. *Bioresource Technology* 73:13-20, 2000.
- CEDERGREEN, N., STREIBIG, J. C., E SPLIID, N. H. **Sensitivity of aquatic plants to the herbicide metsulfuron-methyl**. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 57:153-161, 2004
- COOK, C.D.K.. **Aquatic Plant Book**. SPB Academic Publishers: Hague. 1990.
- CUNNINGHAM, S.D. *et al.* **Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants**. *Adv. Agron.* (56) p.55,1996.
- DEMBITISKY, V. M. & REZANKA, T. **Natural occurrence of arsenic compounds in plants, lichens, algal species and microorganisms**. *Plant Science*, 165: 1177-1192, 2003.
- ESTEVES F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2ed. Rio de Janeiro. Interciência/FINEP. *Estudos de Biologia*. 26:5-24.1998.
- FINLAYSON, C. M. **Growth of *Salvinia molesta* in lake Moondarra, Mout Isa, Australia**. *Aquatic Botany*. 18, 257-262, 1984.
- FUGITA M., MORI K. & KODERA T. **Nutrient removal and starch production through cultivation of arriza**. *J. Biosci. Bioeng.*87:194-198, 1999.
- GLASS, D.J. **The United States Market for Phytoremediation**, D. Glass Associates: Needham, 1998, p. 139.

- GRAEME, K. A., e POLLACK, C. V. Jr. **Heavy metal toxicity**, Part I: arsenic and mercury. 1998.
- GUIMARÃES, F. P. ; *et al.* **Potential of macrophytes for removing atrazine from aqueous solution.** *Aquatic Botany*, 2007.
- GUIMARÃES, F. P. *et al.* **Estudos Laboratoriais de Acúmulo e Toxicidade de Arsênio em *Eichhornia crassipes* e *Salvinia auriculata*.** *J. Braz. Soc. Ecotoxicol.*, v. 1, n. 2, 109-113, 2006.
- HOAGLAND, D.R e ARNON, O.I. **The water-culture method for growing plants without soil.** *California Agricultural Experiment Station*, 1950.39p. (Bulletin 347)
- JAIN, S. K., VASUDEVAN, P., E JHA, N. K. ***Azolla pinnata* R.Br. and *Lemna minor* L. for removal of lead and zinc from polluted water.** *Water Research* 24:177-183, 1990.
- LARCHER, W. ***Ecofisiologia vegetal*.** RiMa : São Carlos, 2000, 531p.
- LANDOLT E. & KANDELER R. **Biosystematic investigations in the family of duckweeds. The family of Lemnaceae – A Monographic Study 2.** Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes 95, 1987.
- LASAT, M. M. **Phytoextraction of toxic metals: A review of biological mechanisms.** *Journal of Environmental Quality* 31:109-120, 2002.
- MKANDAWIRE, M., E DUDEL, E. G. **Accumulation of arsenic in *Lemna gibba* L.(duckweed) in tailing waters of two abandoned uranium mining sites in Saxony, Germany.** *The Science of the Total Environment* 336:81-89, 2005.
- PEDRALLI G. **Macrófitos aquáticos: técnicas e métodos de estudos.** *Revista Agros*, Porto Alegre 83:45-51, 1990.
- PILON-SMITS, E. **Phytoremediation.** *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 56:15-39, 2005.
- PILON-SMITS, E., E PILON, M. **Phytoremediation of metals using transgenic plants.** *Critical Reviews in Plant Science*, 21:439-456, 2002.
- QIAN, J.-H., ZAYED, A., ZHU, Y.-L., YU, M., e TERRY, N. **Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: III. Uptake and accumulation of ten trace elements by twelve plant species.** *Journal of Environmental Quality*, 28:1448-1455, 1999.
- SUTTON D. L. & ORNES W. H. **Phosphorous removal from static sewage effluente using duckweed.** *Journal of Environmental Quality*, 4:367-370, 1975.
- ZAYED, A., GOWTHAMAN, S., E TERRY, N. **Phyto accumulation of trace elements by wetland plants: I. Duckweed.** *Journal of Environmental Quality*, 27:715-721, 1998.
- ZHU, Y.-L., ZAYED, A., QIAN, J.-H., e TERRY, N. **Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: II. Water hyacinth.** *Journal of Environmental Quality* 28:339-344, 1999.