

TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUAL CONTENDO DIESEL DE PETRÓLEO E B2 UTILIZANDO *THYPHA LATIFÓLIA*

Bruna Francielle Gazzoni¹, Alex Gibellato Pavanelli², Talita Pedroso Quessada³, Osmar Rodrigues Brito⁴, Carmen Luisa Barbosa Guedes⁵

- ¹ Aluna de mestrado do Departamento de Química, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brasil; bruna.gazzoni@gmail.com
² Mestre em Química dos Recursos Naturais pela Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brasil.
³ Aluna de mestrado do Departamento de Química, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brasil.
⁴ Professor Doutor do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brasil.
⁵ Professora Doutora do Departamento de Química da Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brasil.

RESUMO

Com o objetivo de avaliar o potencial de fitorremediação da *Typha latifolia* Linn (taboa) foram preparados vasos contendo água contaminada com diesel e B2 (1% v/v). Durante 60 dias de cultivo a fase aquosa foi analisada por espectroscopia de fluorescência. Do tecido vegetal (folhas e raízes) foi determinado o teor de nutrientes. Os espectros de fluorescência indicaram a presença de HPAs (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos) dissolvidos em água, assim como a degradação dos mesmos durante o cultivo. A porcentagem relativa de fluorescência na água contaminada com diesel e B2 diminuiu em 60% e 40%, respectivamente, comparando à porcentagem de emissão em água contaminada não cultivada. A contaminação com diesel e B2 alterou a absorção de nutrientes pela taboa. O percentual de absorção utilizando água contaminada com diesel, em relação a cultivo em água pura, ocorreu na seguinte ordem decrescente: 526,7%; 49,1%; 48,8%; 48,1%; 31,7% e 25,3%, para Fe, K, Zn, Mg, N e P, respectivamente. Para o B2 a ordem foi a seguinte: 196,4%; 141,3%; 46,5%; 45,3%; 30,2% e 11,5%, para Fe, Zn, Mg, N, P e K, respectivamente. Para Ca, Cu e Mn não foram observadas variações significativas.

PALAVRAS-CHAVE: FLUORESCÊNCIA, ABSORÇÃO ATÔMICA, HPA

TREATMENT OF RESIDUAL WATER COINTAINING DIESEL OIL AND B2 USING *TYPHA LATIFOLIA*

ABSTRACT

Aiming to evaluate the potential for phytoremediation of *Typha latifolia* Linn (cattail) were prepared pots of water contaminated with diesel and B2 (1% v / v). During 60 days of cultivation the aqueous phase was analyzed by fluorescence spectroscopy. Plant tissue (leaves and roots) determined the nutrient content. Fluorescence spectra indicated the presence of PAHs (polycyclic aromatic hydrocarbons) dissolved in

water, as well as their degradation during cultivation. The relative percentage of fluorescence in water contaminated with diesel and B2 decreased by 60% and 40% respectively, comparing the percentage of emission in contaminated water uncultivated. The diesel and B2 contamination have changed the absorption of nutrients by cattail. The percentage of absorption using water contaminated with diesel, for cultivation in pure water, occurred in the following order: 526.7% 49.1% 48.8% 48.1% 31.7% and 25.3% for Fe, K, Zn, Mg, N and P, respectively. For B2 order was as follows: 196.4%, 141.3%, 46.5%, 45.3%, 30.2% and 11.5% for Fe, Zn, Mg, N, P and K, respectively. Ca, Cu and Mn did not vary due to the presence of contaminants in water.

KEYWORDS: FLUORESCENCE, ATOMIC ABSORPTION, PAH.

1 Introdução

Acidentes ecológicos envolvendo derramamento de petróleo e seus derivados têm sido freqüentes nas últimas décadas no mundo todo (THIBES-RODRIGUES, et al., 2006). Quando o petróleo ou seus subprodutos são derramados em ambiente aquático, imediatas mudanças em suas propriedades físicas e químicas ocorrem e o óleo começa a sofrer a ação do ambiente, com ocorrência de efeitos físicos, químicos e biológicos. Esse processo é chamado de intemperismo (GUEDES, 1998; GUEDES et al., 2003; GUEDES et al., 2006; NICODEM et al, 1997; NICODEM et al, 2001).

O óleo diesel é uma mistura complexa, contendo compostos voláteis e derivados de naftaleno que podem interferir no desenvolvimento normal das plantas (ADAM & DUNCAN, 1999). Ele é constituído predominantemente por hidrocarbonetos parafínicos. O combustível apresenta ainda hidrocarbonetos naftênicos e hidrocarbonetos aromáticos (10 – 40% v/v). Compostos nitrogenados e oxigenados estão presentes como impurezas, além de enxofre. Dos hidrocarbonetos totais de petróleo que compõem o óleo diesel, incluem-se os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), como naftaleno, metilnaftaleno, dimetilnaftaleno, acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(g,h,i)perileno, benzo(a)pireno, dibenzo(a,h)antraceno, criseno, indeno(1,2,3-c,d)pireno, e os monoaromáticos também conhecidos como BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno, o-xileno, m-xileno, p-xileno) (PETROBRAS, 2010).

Além disso, os HPAs encontrados no diesel são persistentes no ambiente. Dos óleos combustíveis de destilação média, o diesel é o que apresenta o maior conteúdo de HPAs e aromáticos totais (ADAM & DUNCAN, 1999). Os HPAs não se degradam facilmente em condições naturais e sua persistência aumenta com o aumento de seu peso molecular. Assim, têm atraído atenção de muitos pesquisadores em razão da sua resistência à biodegradação, alto potencial de bioacumulação e atividade carcinogênica (HARITASH & KAUSHIK, 2009).

Como medida para amenizar problemas de poluição vem sendo pesquisadas alternativas para substituir os combustíveis fósseis por outras fontes de energia. Uma dessas alternativas é a produção de biodiesel, que é obtido de fonte renovável, não é tóxico, é mais oxigenado e é isento de enxofre e de HPAs. Quimicamente o biodiesel pode ser definido como “mono-alquil éster de ácido graxo” derivado de fontes renováveis, como óleo vegetal e gordura animal. É obtido através do

processo de transesterificação, no qual ocorre a transformação de triglicerídeos em moléculas menores de ésteres de ácidos graxos (FERRARI et al., 2005; FONSECA et al., 2010).

Muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos com objetivo de encontrar alternativas apropriadas para remover contaminantes orgânicos, principalmente aromáticos, do solo e das águas. Novas técnicas como biorremediação e fitorremediação têm sido alternativas atraentes para a recuperação de locais contaminados por petróleo e derivados (AGAMUTU et al., 2010; ANDREONI et al., 2004).

A fitorremediação é uma técnica que utiliza plantas como agente de descontaminação de solo e água. É uma alternativa vantajosa principalmente por apresentar potencial para tratamento *in situ* e ser economicamente viável (PIRES et al., 2003; SUN et al., 2010). A utilização da fitorremediação baseia-se na seletividade (natural ou induzida) que algumas espécies apresentam à determinados tipos de compostos. Vários estudos indicam as espécies do gênero *Typha sp.* como plantas que apresentam alta capacidade para tolerar e eliminar compostos orgânicos da água ou solos contaminados (DORDIO et al, 2009; DORDIO et al, 2010; PARK et al., 2009; PAVANELLI, 2007). As ações da planta nos contaminantes podem ser resumidas em: **Fitoextração** - quando a planta captura e degrada ou volatiliza os contaminantes; **Fitodegradação** - quando a planta, a partir da liberação de enzimas e outras substâncias via raízes ou via microflora associada, degradam os contaminantes convertendo-os em substâncias menos tóxicas; **Fitoestabilização** - quando o contaminante fica retido ou inativo no tecido vegetal (ALKORTA et al., 2001; DAVIS et al., 2002; HARITASH & KAUSHIK, 2009; SCHWAB, 2006; SUN et al. 2010; WENZEL, 2009).

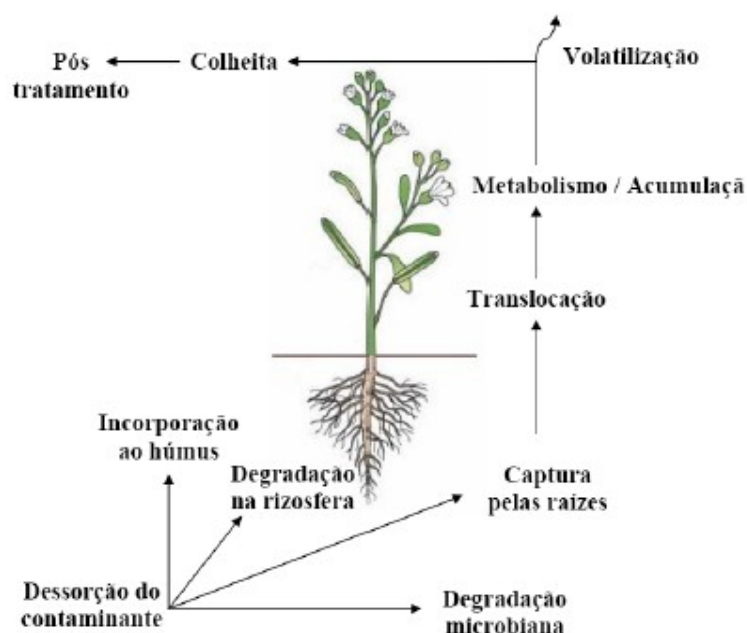


FIGURA 1. Mecanismos envolvidos no processo de fitorremediação (Pavanelli, 2007).

A técnica de espectroscopia de fluorescência vem sendo amplamente utilizada para quantificar, monitorar e caracterizar a presença de petróleo e seus derivados, dissolvido ou emulsificado, em mares e rios (KIM et al., 2010). A

contaminação das águas e dos solos por derivado de petróleo pode comprometer o crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas nestes ambientes.

Para que a planta cresça e se desenvolva normalmente devem existir de forma disponível no solo alguns macro e micronutrientes classificados como essenciais que são: N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn, Mo, Cl e B. A classificação em macronutrientes e micronutrientes está relacionada à quantidade normalmente absorvidas pelas plantas (MENGEL & KIRKBY, 1982).

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

➤ Avaliar o efeito do cultivo da espécie vegetal *Typha latifolia* Linn. na remediação de água contaminada com diesel comercial e diesel aditivado com 2% de biodiesel (B2).

2.2 Objetivos Específicos

- Monitorar a degradação da fração aromática de diesel na água;
- Avaliar a interferência do contaminante no processo de absorção de nutrientes pela taboa.

3 Metodologia

O experimento foi conduzido em ambiente de casa de vegetação localizada no Centro de Ciências Biológicas (CCB) da Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina, PR. A matriz utilizada foi água de poço artesiano localizado nas proximidades do Departamento de Agronomia da UEL. Os combustíveis utilizados na contaminação da água foram o B2 (diesel aditivado com 2% de biodiesel) e óleo diesel tipo interior (diesel B), adquirido em posto de combustível na cidade de Londrina. Os óleos foram misturados com a água na proporção de 1% (v/v) utilizando um misturador Fisiton 715. As mudas de taboa (*Typha latifolia*) utilizadas no experimento foram coletadas na Fazenda-Escola da UEL (Latitude 23°23' Sul e Longitude 51°11' Oeste), identificadas pelo Herbário do Centro de Ciências Biológicas da UEL e pelo Museu Botânico de Curitiba, Curitiba, PR como *Typha latifolia* Linn. Após a coleta as mudas foram transferidas para recipientes contendo água de poço artesiano onde permaneceram por 10 dias. Após o período de adaptação, as mudas foram selecionadas e transferidas para vasos de vidro (20 cm de altura e 15 cm de diâmetro) com capacidade para 2,5 L de água contaminada conforme os tratamentos a serem testados.

O experimento foi planejado de acordo com o esquema apresentado na QUADRO 1 e a cada 15 dias os vasos foram trocados aleatoriamente de posição.

QUADRO 1. Composição da fase líquida aquosa nos vasos para cultivo da taboa durante 60 dias.

Tratamentos	Representação dos vasos
Água de poço + B2	
Água de poço + diesel	
Água de poço + cultivo da taboa	
Água de poço + B2 + cultivo da taboa	
Água de poço + diesel + cultivo da taboa	

As amostragens do líquido (fase aquosa) de cada vasos foram realizadas aos 20, 30, 40, 50 e 60 dias após a instalação do experimento para análise por espectroscopia de fluorescência em Espectrofluorímetro Shimadzu RF5301PC na modalidade synchronous com $\Delta\lambda = 30$ nm e varredura de emissão entre 250 e 650 nm. Foram calculadas as áreas integradas dos espectros de fluorescência utilizando o programa Personal Fluorescence RF5301-PC versão 1.40, tomando-se o intervalo entre 375 e 395 nm.

Após 60 dias de cultivo, as plantas foram coletadas e lavadas. Toda a água resultante do experimento e da lavagem das plantas foi devidamente armazenada para posterior tratamento e disposição adequada.

A parte aérea e as raízes da taboa foram secas a 55 °C em estufa com circulação forçada de ar por 72 h. Após a secagem o material colhido foi misturado e moído (micro moinho Tecnal - TE648) e analisado quimicamente para avaliação dos teores de macro e micronutrientes (MALAVOLTA et al., 1997).

A determinação do nitrogênio foi realizada por digestão sulfúrica, adicionando-se num tubo digestor 0,100 g de material seco e triturado e sete mL de solução digestora, preparada por dissolução de 5,47 g de $\text{Na}_2\text{SeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 48,5 g de $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ e 4,0 g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ em 175 mL de água destilada, misturando muito bem para então acrescentar cuidadosamente 200 mL de H_2SO_4 . Os tubos foram colocados em um bloco digestor à temperatura ambiente, aumentando 40 °C a cada 30 minutos até atingir 350 °C, permanecendo nessa temperatura até a obtenção de um digerido incolor ou levemente esverdeado. Fez-se a destilação da solução digerida em equipamento destilador de nitrogênio Tecnal TE - 036/1 e o teor de nitrogênio determinado por volumetria, usando como indicador a solução de ácido bórico com verde de bromocresol e vermelho de metila. Para o preparo da solução indicadora 20 g de ácido bórico P.A. foram dissolvidos em um L de água destilada, sendo acrescidos 15 mL de solução alcoólica de verde de bromocresol a 0,1% e seis mL de solução alcoólica de vermelho de metila a 0,1% (MALAVOLTA et al., 1997).

As análises de P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn no material seco da parte aérea e das raízes foram realizadas por digestão nitro-perclórica adicionando-se no tubo digestor 0,500 g de material seco e triturado com seis mL de solução digestora, preparada mediante mistura de 800 mL de HNO_3 (65%) com 200 mL de HClO_4 (72%). Os tubos digestores foram inseridos no bloco digestor a temperatura inicial de 50 °C que foi elevada gradativamente até atingir 160 °C, permanecendo assim até que não houvesse mais desprendimento de NO_2 (gás de cor castanha). A

temperatura foi novamente elevada para 210 °C, permanecendo assim até iniciar o desprendimento de fumos brancos de HClO_4 , indicando o final do processo de digestão. O digerido obtido (incolor ou levemente esverdeado) foi resfriado e diluído com água destilada para obter o volume final de 50 mL (MALAVOLTA et al., 1997).

A determinação de fósforo foi realizada pela adição num tubo de ensaio de 0,5 mL do extrato; 4,5 mL de água deionizada; 10 mL de solução de molibdato de amônio a 2,5% m/v em ácido sulfúrico 10 N e 0,1 mL de solução aquosa de ácido ascórbico 0,3% m/v. Após agitação manual, o tubo de ensaio contendo a mistura de soluções foi deixado em repouso por 30 minutos. A leitura de absorvância a 660 nm foi realizada em espectrofotômetro Femto 600 Plus previamente calibrado. (MALAVOLTA et al., 1997).

A determinação de potássio foi feita adicionando-se num tubo de ensaio um mL do extrato e nove mL de solução aquosa de ácido perclórico 0,4% v/v, que após agitação manual foi analisada por fotometria de chama em fotômetro Micronal B262. (MALAVOLTA et al., 1997).

As determinações de cálcio e magnésio foram realizadas adicionando-se num tubo de ensaio 0,1 mL do extrato e 4,9 mL da solução de óxido de lantânio a 5% m/v (~250 mL de água destilada com 58,5 g de La_2O_3 e 125 mL de HCl, completando a um L com água destilada). Após agitação manual, a mistura de soluções foi analisada através de espectroscopia de absorção atômica por chama em equipamento GBC 932 AA (MALAVOLTA et al., 1997).

As determinações de micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) foram realizadas pela análise direta do extrato através de espectroscopia de absorção atômica por chama em equipamento GBC 932 AA (MALAVOLTA et al., 1997).

Os dados obtidos foram submetidos a análises de variâncias e quando necessário, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade mediante emprego do software Sisvar para Windows v. 4.6.

4 Resultados e Discussão

O diesel comum tipo B utilizado neste trabalho apresentou-se fluorescente devido às frações monoaromática e poliaromática. A fluorescência não ocorre no biodiesel (B100), pois seus componentes são os ésteres saturados ou insaturados derivados de ácidos graxos, porém, no B2 (diesel fóssil com 2% de biodiesel) a fluorescência é característica de compostos aromáticos do diesel (LEITE, 2007).

Os espectros de fluorescência registrados na modalidade *synchronous*, varredura de 250 nm a 650 nm, revelaram perfis idênticos para todos os tratamentos testados, exceto quanto à intensidade relativa de fluorescência. Na faixa de emissão entre 340 e 450 nm a intensidade de fluorescência na água contendo o diesel foi 13% menor do que na água contendo o B2 após 60 dias de cultivo, devido à perda de fração volátil do combustível fóssil.

Na FIGURA 2, são apresentadas as médias das áreas integradas dos espectros de fluorescência na água contendo diesel e B2 em todo o período de monitoramento. Considerando que a diminuição de fluorescência (entre 250 nm e 650 nm) corresponde à degradação da fração aromática dos combustíveis, houve 60% de degradação dos aromáticos do óleo diesel e 40% de degradação dos aromáticos de B2 em água cultivada com a taboa, considerando como 100%

fluorescente a fração aromática dos combustíveis nas respectivas águas não-cultivadas após 60 dias de monitoramento.

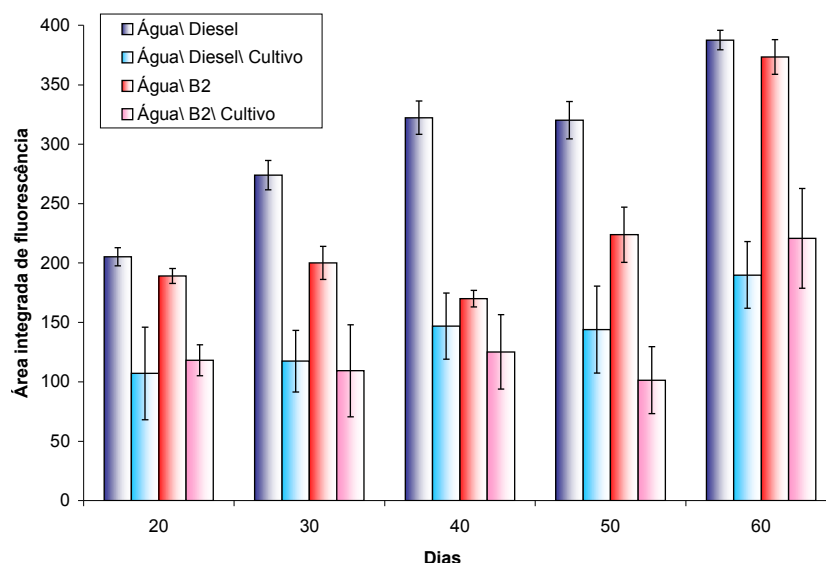


FIGURA 2. Média das áreas integradas dos espectros de fluorescência na água contendo diesel e B2.

A fluorescência na fase aquosa aumentou gradativamente no decorrer do monitoramento. De acordo com NICODEM et al. (1997; 2001), a exposição do filme de petróleo à luz solar ocasiona a solubilização de componentes polares do óleo em água. Isto decorre da formação de derivados polares que migram da fase oleosa para a fase aquosa, aumentando a fluorescência de aromáticos na fase aquosa. De forma semelhante neste trabalho, o diesel e B2 podem ter gerado intermediários ou produtos polares, que possivelmente migraram para a água, tornando-a mais fluorescente.

Os valores médios obtidos para teores de macro e micronutrientes no material seco da parte aérea e das raízes encontram-se na Tabela 1.

TABELA 1. Teores médios de macro e micronutrientes no material seco a parte aérea e das raízes de taboa após 60 dias de cultivo em água contendo diesel e B2.

Tratamentos	Macronutrientes (g/kg)					Micronutrientes (mg/kg)			
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Água	22,1 a*	3,9 a	56,3 a	7,2 a	1,9 a	12,5 a	633,5 B	88,3 a	48,3 ab
Água + Diesel	7,0 c	1,0 b	27,7 b	5,8 a	0,9 b	9,3 a	3336,7 A	210,0 a	23,6 b
Água + B2	10,0 b	1,2 b	6,5 c	2,4 a	0,9 b	11,0 a	1244,3 B	130,8 a	68,3 a
CV (%)	6,69	24,69	24,87	45,82	18,87	40,45	106,17	44,07	21,85
DMS	0,23	0,20	18,79	5,82	1,21	11,05	748,26	158,66	26,08

* Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Os teores de macronutrientes no material seco da parte aérea e raízes da taboa, em geral, foram maiores na planta cultivada em água não-contaminada com

diesel e B2, exceto para os teores de cálcio que não diferiu entre os tratamentos testados (TABELA 1).

O teor médio de nitrogênio no material seco das plantas de taboa submetidas ao B2 e ao diesel corresponderam respectivamente a 45,3 e 31,7% do valor observado nas plantas cultivadas em água pura. As plantas submetidas aos contaminantes apresentaram sintomas visuais de amarelecimento das folhas alguns dias após a transferência para a água contaminada, indicando algum tipo de toxidez associada à redução na absorção de nitrogênio e do conteúdo de clorofila.

As reduções nos teores de fósforo no material seco da parte aérea e das raízes da taboa cultivada na água contaminada com B2 e diesel foram de 69,8 e 74,7% respectivamente, em relação a água não contaminada.

Os teores médios de potássio no material seco da parte aérea e das raízes da taboa cultivada na água contaminada foram menores que aquele obtido para plantas cultivadas em água pura. As reduções observadas foram de 50 e 90% para plantas cultivadas em água contaminada com diesel e B2, respectivamente. Estes resultados indicam maior severidade do efeito tóxico da contaminação da água com B2 na redução de absorção do potássio.

A redução no teor de magnésio no material seco da parte aérea e das raízes da taboa cultivada em água contaminada tanto com diesel quanto com B2 foi de 47%.

Na avaliação dos teores de micronutrientes no material seco da parte aérea e das raízes da taboa não foram observadas entre os tratamentos diferenças significativas para os teores de cobre e manganês. Por outro lado os teores de ferro foram maiores nas plantas cultivadas em água contaminada com diesel e o de zinco na água contaminada com B2 (TABELA 1).

Diante dos resultados obtidos pode-se inferir que as contaminações das águas com diesel e B2 exerceram influências negativas no processo de absorção de nutrientes pelas plantas de taboa, possivelmente devido à formação de um filme de óleo (camada hidrofóbica) na superfície das raízes, interferindo na dinâmica de absorção dos íons necessários à sua nutrição.

5 Conclusões

A taboa (*Typha latifolia* Linn) cultivada em água contaminada com diesel e B2 promoveu a remoção ou degradação de compostos aromáticos do meio aquoso. As reduções na fluorescência do diesel e do B2 disperso na água foram 60 e 40%, respectivamente.

A contaminação das águas com diesel e B2 reduziu a absorção de nutrientes pela taboa, exceto para o ferro e zinco que tiveram os teores aumentados no material seco da parte aérea e das raízes.

Os teores de Ca, Cu e Mn no material seco da parte aérea e das raízes da taboa não sofreram variações devido à contaminação das águas com diesel e B2.

6 Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa do PIBIC e ao Centro de Ciências Biológicas (CCB) da UEL pela utilização da casa de vegetação.

Referências

- ADAM, G.; DUNCAN, H. J. Effect of diesel fuel on growth of selected plant species. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 21, p. 353-357, 1999.
- AGAMUTHU, P.; ABIOYE, O. P.; AZIZ, A. A.; Phytoremediation of soil contaminated with used lubricating oil using *Jatropha curcas*. **Journal of Hazardous Materials**, v. 179, p. 891–894, 2010.
- ALKORTA, I.; GARBISU, C. Phytoremediation of organic contaminants in soil. **Bioresource Technology**, v. 79, p. 273-276, 2001.
- ANDREONI, V.; CAVALCA, L.; RAO, M. A.; NOCERINO, G.; BERNASCONI, S.; DELL'AMICO, E.; COLOMBO, M.; GIANFREDA, L. Bacterial communities and enzyme activities of PAHs polluted soils. **Chemosphere**, v. 57, p. 401-412, 2004.
- DAVIS, L. C.; CASTRO-DIAZ, S.; ZHANG, Q.; ERICKSON, L. E. Benefits of vegetation for soils with organic contaminants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 21, n. 5, p. 457-491, 2002.
- DORDIO, A.V., DUARTE, C., BARREIROS, M., CARVALHO, A.J.P., PINTO, A.P., da COSTA, C.T. Toxicity and removal efficiency of pharmaceutical metabolite clofibrac acid by *Typha spp.* – potential use for phytoremediation? **Bioresource Technology**, v. 100, p. 1156–1161, 2009.
- DORDIO, A.; CARVALHO, A. J. P.; TEIXEIRA, D. M.; DIAS, C. B.; PINTO, A. P. Removal of pharmaceuticals in microcosm constructed wetlands using *Typha spp.* and LECA. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 886–892, 2010.
- FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja -Taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 19-23, 2005.
- FONSECA, F. A. S.; VIDAL-VIEIRA, J. A.; RAVAGNANI, S. P.; Transesterification of vegetable oils: Simulating the replacement of batch reactors with continuous reactors. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 8151–8157, 2010.
- GUEDES, C. L. B. **Intemperismo fotoquímico de petróleo sobre água do mar: estudo do processo natural e efeito da adição de tetrafenilporfina**. Tese (Doutorado), Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, fevereiro 1998.

GUEDES, C. L. B.; DI MAURO, E.; ANTUNES, V.; MANGRICH, A. S. Photochemical weathering study of Brazilian petroleum by EPR spectroscopy. **Marine Chemistry**, v. 84, p. 105–112, 2003.

GUEDES, C. L. B.; DI MAURO, E.; CAMPOS, A.; MAZZOCHIN, L. F.; BRAGAGNOLO, G. M.; MELO, F. A. de ; PICCINATO, M. T. EPR and fluorescence spectroscopies in a study of photodegradation of Arabian and Colombian crude oils. **International Journal of Photoenergy**, v. 2006, p. 1-6, 2006.

HARITASH, A.K.; KAUSHIK, C.P. Biodegradation aspects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs): A review. **Journal of Hazardous Materials**, v. 169, p. 1–15, 2009.

KIM, M.; YIM, U. H.; HONG, S. H.; JUNG, J.; CHOI, H.; AN, J.; WON, J.; SHIM, W. J. Hebei Spirit oil spill monitored on site by fluorometric detection of residual oil in coastal waters off Taean, Korea. **Marine Pollution Bulletin**. v. 60, p. 383–389, 2010.

LEITE, R C S. **Degradação ambiental de óleo diesel aditivado e em mistura com biodiesel**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Química, Universidade Estadual de Londrina, novembro 2007.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas – princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MENGEL, K.; KIRBY, E. A. **Principles of plants nutrition**. 3.ed. Worblanten-Bern/Switzerland: International Potash Institute, 1982. 655p.

NICODEM, D. E., FERNANDES, M. C. Z., GUEDES, C. L. B., CORREA, R. J. Photochemical processes and the environmental impact of petroleum spills. **Biogeochemistry**, v. 39, n.2, p. 121-138, 1997.

NICODEM, D. E.; GUEDES, C. L. B.; FERNANDES, M. C. Z.; SEVERINO, D.; CORREA, R. J.; COUTINHO, M. C.; SILVA, J. Photochemistry of petroleum. **Progress in Reaction Kinetics and Mechanism**, v. 26, p 219-238, 2001.

PAVANELLI, A. G.; **Fitorremediação de solo impactado com petróleo utilizando *Typha latifolia* Linn.** Dissertação (Mestrado) Departamento de Química, Universidade Estadual de Londrina, abril 2007.

PARK, N.; VANDERFORD, B.J.; SNYDER, S.A.; SARP, S.; KIM, S.D.; CHO, J. Effective controls of micropollutants included in wastewater effluent using constructed wetlands under anoxic condition. **Ecological engineering**, v. 35, p. 418–423, 2009.

PETROBRAS. **Óleo Diesel**. Disponível em <http://www2.petrobras.com.br/portugues/ads/ads_Produtos.html> Acesso em: 10 ago. 2010.

PIRES, F.R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; FERREIRA, L. R. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 335-341, 2003.

THIBES-RODRIGUES, T.; WISNIEWSKI, C.; BONA, C.; DEDECEK, R. A.; SANTOS, G. O.. Caracterização Nutricional De Branquilha (*Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs - Euphorbiaceae), Cultivado Em Solo Contaminado Por Petróleo. **Floresta**, v. 36, n. 3, p. 349-359, 2006.

SCHWAB, P.; BANKS, M. K.; KYLE, W. A. Heritability of phytoremediation potential for the alfalfa cultivar Ryley in petroleum contaminated soil. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 177, p. 239-249, 2006.

SUN, T. R.; CANG, L.; WANG, Q. Y.; ZHOU, D. M.; CHENG, J. M.; XU, H. Roles of abiotic losses, microbes, plant roots, and root exudates on phytoremediation of PAHs in a barren soil. **Journal of Hazardous Materials**, v. 176, p. 919–925, 2010.

WENZEL, W. W. Rhizosphere processes and management in bioremediation (phytoremediation) of soils. **Plant Soil**, v. 321, p. 385–408, 2009.