

# FITORREMEDIAÇÃO DE AQUÍFEROS CONTAMINADOS POR GASOLINA

*FÁBIO NETTO MORENO*

Msc. Eng. Ambiental-Universidade Federal de Santa Catarina  
Professor, Centro de Ciências Exatas, Agrárias e das Engenharias-UNISUL

*HENRY XAVIER CORSEUIL*

PhD. Eng. Ambiental - The University of Michigan  
Prof. Adjunto, Depto. Eng. Ambiental e Sanitária, UFSC

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi investigar o potencial do chorão (*Salix babylonica*), no processo de absorção direta pelas raízes do etanol e do benzeno, como uma etapa inicial no estudo da fitorremediação. O cultivo de estacas desta espécie em reatores contendo solução hidropônica adicionada de etanol e benzeno revelou reduções de até 99% para ambos os contaminantes. Esta eficiência foi devida não somente à absorção dos contaminantes juntamente com a corrente transpirativa mas também à sua adsorção à superfície radicular. Resultados adicionais para a fitotoxicidade do etanol demonstraram que a transpiração das estacas foi afetada somente quando atingiu-se a dosagem de 2000 mg/L. Apesar de preliminar, este estudo revela o potencial do chorão para a fitorremediação de aquíferos rasos e também discute as implicações da utilização desta tecnologia sobre o meio ambiente.

**Palavras chaves:** chorão, fitorremediação, aquíferos, etanol, benzeno

## ABSTRACT

*The purpose of this work was to investigate the ability of willow tree (*Salix babylonica*) in the vegetative uptake of ethanol and benzene as a preliminary study on phytoremediation. Hydroponic culture of willow cuttings in reactors dosed with ethanol and benzene revealed 99% reductions, for both contaminants. Such efficiency appears to be due not only to contaminant's uptake onto plant roots together with the transpirative stream but also to their sorption to roots biomass. Additional results for ethanol phytotoxicity demonstrated that transpirational rates of dosed plants were affected only when dosage reached 2000 mg/L. In spite of being a preliminary study, this work demonstrates the viability of the utilisation of *Salix babylonica* trees for the clean-up of shallow aquifers contaminated with ethanol and benzene and it also discusses the implications of this technology for the environment as a whole.*

**KEYWORDS:** willow tree, phytoremediation, aquifers, ethanol, benzene

## INTRODUÇÃO

As preocupações relacionadas a presença de hidrocarbonetos do petróleo em aquíferos subterrâneos em consequência de problemas de vazamentos, derrames e acidentes têm aumentado em diversas cidades brasileiras e vêm ganhando espaço cada vez maior na mídia nacional. Esta preocupação é cada vez mais pertinente no país, em função da deterioração da qualidade das águas superficiais e do uso crescente da água subterrânea para abastecimento humano. Em São Paulo, por exemplo, 75% dos municípios utilizam poços subterrâneos para abastecimento da população (Cetesb, 1999). Em um derramamento de gasolina as atenções para a contaminação do lençol freático estão voltadas para a presença dos

hidrocarbonetos monoaromáticos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX) na água utilizada para o abastecimento da população (Corseuil e Alvarez, 1996). Em seres humanos, a exposição crônica via ingestão de água contaminada a estes contaminantes em nível de partes por bilhão, além de ser carcinogênica às células sanguíneas (pode causar leucemia), tem ação depressante no sistema nervoso central.

A remediação natural é uma das estratégias de gerenciamento que tem sido empregadas na recuperação de locais contaminados por derivados de petróleo. Esta tecnologia está baseada em mecanismos naturais de atenuação como a diluição, dispersão, adsorção e biodegradação, que podem, dependendo das condições hidrogeológicas do local, limitar e reduzir consideravelmente a extensão da conta-

minação subsuperficial (Corseuil e Marins, 1997). No entanto, uma das exigências para a utilização adequada desta estratégia é a determinação das taxas de migração e de redução do tamanho da pluma, processos estes que vão depender das complexas interações físico-químicas envolvendo o etanol e os compostos BTEX, no caso de contaminações com gasolina.

Os principais efeitos que acontecem quando ocorre um derramamento com a gasolina comercializada no Brasil estão associados a interação do etanol com os hidrocarbonetos presente na gasolina. Esta interação pode causar um aumento na concentração dos hidrocarbonetos na água (Corseuil e Fernandes, 1999) e dificultar a degradação dos compostos BTEX (Corseuil et al., 1998). Desta forma, a presença do etanol em derrama-

mentos de gasolina pode aumentar o tempo que os processos naturais de atenuação levam para eliminar os contaminantes presentes na água subterrânea. A diminuição da taxa de atenuação natural pode indicar então a necessidade da utilização de formas ativas de remediação para os locais contaminados por derramamentos de gasolina. Dentre estas tecnologias ativas, a fitorremediação tem sido uma das mais utilizadas na recuperação de áreas contaminadas por compostos orgânicos e inorgânicos.

## FITORREMEDIAÇÃO

A utilização de espécies de plantas no saneamento ambiental esteve geralmente associada ao tratamento de esgotos domésticos. Porém, uma vez que a biomassa vegetal representa 99% da biomassa viva do planeta Terra e um valor 100 vezes superior a biomassa de microorganismos, é natural que as plantas estejam envolvidas em numerosos processos que têm uma relação muito íntima com o destino dos resíduos químicos despejados no meio ambiente (Nelessen e Fletcher, 1993). Desta forma, investimentos em pesquisa e desenvolvimento de tecnologia nos últimos anos estenderam o potencial da comunidade vegetal para uma gama de poluentes introduzidos que variam desde nutrientes até metais pesados e compostos químicos orgânicos de origem antropogênica. Estes estudos têm demonstrado que, além de potencializar a biodegradação no solo, espécies de plantas aquáticas, herbáceas, arbustivas e arbóreas têm sido capazes de remover, bioacumular e também detoxificar as mais diferentes classes de compostos químicos (Walton e Anderson, 1990; Paterson and Schnoor, 1992; Anderson e Walton, 1993; Paterson e Schnoor, 1993; Nair et al., 1993; Thompson et al., 1998; Moreno, 1998; Burken and Schnoor, 1999). Segundo Schnoor et al., 1995 o termo fitorremediação é utilizado para englobar todos os processos envolvidos na remediação de solos, sedimentos e sistemas de aquíferos contaminados por meio da seleção e utilização de espécies vegetais. Como exemplos destes processos podem ser citados a fitoextração, que envolve a acumulação de altas concentrações de metais e radionuclídeos nas porções aéreas de plantas visando a sua remoção ou redução no solo; a utilização do potencial transpirativo de árvores freatófitas visando o controle da poluição de aquíferos

por substâncias capazes de percolar no solo; e a rizofiltração ou remoção de metais pesados da água através da sua absorção pelo sistema radicular (Figura 1).

Uma vez absorvidos pela raiz, os contaminantes podem ser degradados ou detoxificados nos tecidos aéreos da planta (fitotransformação) ou simplesmente volatilizados a partir das folhas para a atmosfera (fitovolatilização). Contaminantes que permanecem no solo podem, por outro lado, ser transformados cometabolicamente pela ação de enzimas ou por microorganismos (colônias de bactérias ou fungos micorrízicos) associados simbioticamente com a raiz (fitoestimulação). Soma-se a este conjunto o papel dos exudatos que ao serem liberados pelas raízes podem imobilizar contaminantes retendo-os no solo ou estimular o crescimento e a atividade da flora microbiana (Glass, 1999).

### Absorção direta do etanol e benzeno

Os experimentos de absorção direta utilizaram três tratamentos: reatores com a presença de estacas, controles sem estacas, e reatores somente com a presença de raízes, o qual foi preparado da mesma forma que o tratamento com as estacas, porém, sem a porção superior da planta, que foi cortada simultaneamente à adição do contaminante nos reatores. A presença isolada de raízes em meio hidropônico possibilitou o monitoramento das perdas de contaminantes orgânicos por processos abióticos como a sorção ao tecido radicular (Burken e Schnoor, 1999). A transpiração, que constitui um fator chave no processo de absorção direta, foi monitorada em todos os experimentos através de balança analítica manual. A utilização de reatores completamente vedados evitou a volatilização dos contaminantes e perdas de água por evaporação. Os reatores foram também envolvidos com papel alumínio para inibir o crescimento de algas e/ou fotodecomposição dos contaminantes. A esterilização ocorreu previamente à adição das soluções nos reatores e procedeu-se em autoclave durante 15 minutos a 121°C e 100 Kpa. Além disso, nos tratamentos controles (reatores com somente raízes e reatores sem estacas) adicionou-se 1000 mg/L de azida de sódio à solução nutritiva para inibir a atividade microbiana.

O experimento com o etanol foi conduzido por um período mínimo de 4

dias sob condições de estufa, onde os reatores foram colocados de modo aleatório. A localização desta estrutura também foi orientada de modo a receber constantemente e uniformemente a luz solar (Castellane e Araujo, 1995). A massa adicionada de etanol foi calculada analiticamente para se alcançar uma concentração aproximada de 1500 mg/L em 400 mL de solução nutritiva.

O experimento com benzeno, por outro lado, foi conduzido em regime semi-contínuo, onde foi mantido um volume constante de solução nos reatores mediante reposição diária do volume de água retirado para análise assim como para o volume transpirado pelas estacas. Desta forma pretendeu-se simular o papel das plantas como uma barreira natural onde a pluma, uma vez presente na fase aquosa do aquífero, migraria acompanhando o fluxo da água subterrânea até alcançar o sistema radicular de uma população de árvores. A massa adicionada de benzeno foi calculada analiticamente para atingir uma concentração aproximada de 20mg/L em 250mL de solução nutritiva. Devido a característica altamente volátil do benzeno, o enraizamento das estacas e a posterior montagem deste experimento transcorreram em ambiente fechado com temperatura controlada de 25 °C. Doze lâmpadas fluorescentes (Phillips) com 40 watts cada, garantiram um período de iluminação de 16 horas/dia no ambiente. O modelo dos reatores para este experimento também foi modificado. Decidiu-se pela utilização de frascos menores (volume total de 300mL) com tampa de Teflon rosqueável reforçada apropriadamente no lado externo com uma camada de PARAFILME. Todos estes cuidados serviram para minimizar o potencial de perda do benzeno por volatilização e adsorção.

Para a análise de benzeno e etanol, alíquotas de 1 mL da fração líquida foram retiradas de cada reator em intervalos de 24 horas e transferidos para frascos de 20mL com auxílio de seringas com vedação de gás. Os frascos foram selados com o auxílio de lacradores e estocados em freezer a 4 °C para posterior análise por cromatografia gasosa. Análises do benzeno e do etanol foram realizadas em um cromatógrafo a gás (CG) marca Hewlett Packard (HP) 5890 - Série II acoplado a amostrador automático (Headspace Sampler HP 7694). A leitura no CG foi feita através de detector de ionização de chama (DIC), sendo as amostras injetadas em coluna capilar HP-1

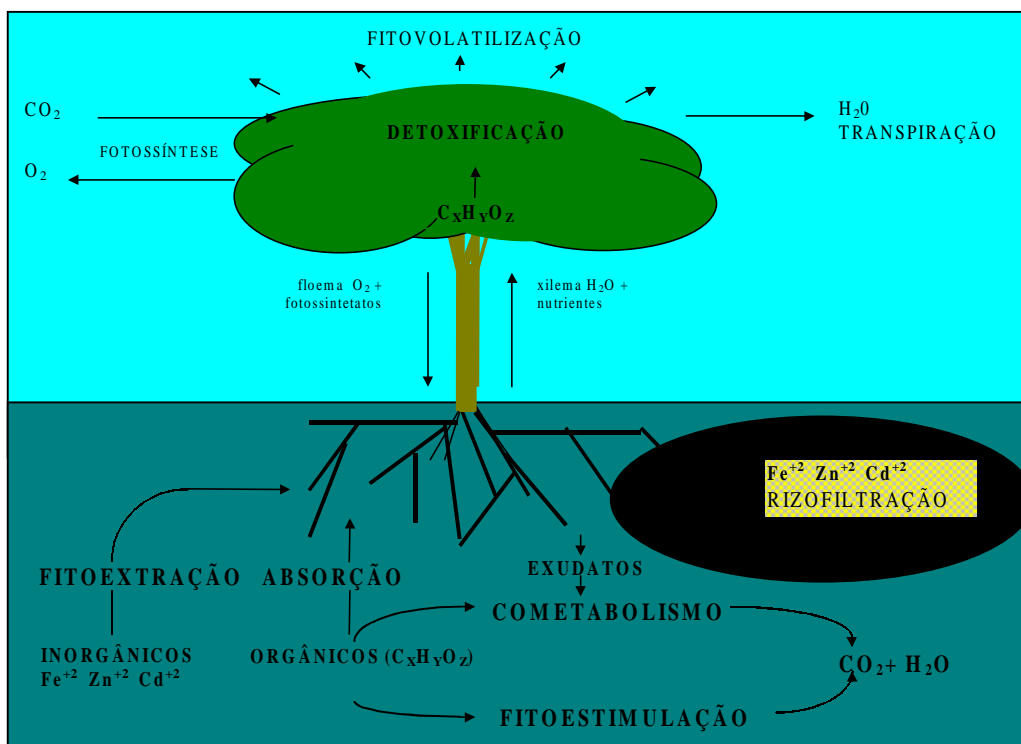


Figura 1- Fitorremediação de compostos químicos orgânicos e inorgânicos em uma espécie arbórea (aquífera).

(30m comprimento, 0.53 mm de diâmetro e 2.65 mm de espessura, HP).

Para a análise estatística destes experimentos utilizou-se uma abordagem completamente randomizada e baseada no teste de hipóteses. Foram realizadas no mínimo três repetições por tratamento (cada repetição consistiu de um reator com a presença de uma única estaca) e, por se tratarem de amostras independentes, utilizou-se para a comparação das médias a análise de variância em uma direção (One-way - ANOVA). Os valores médios para a remoção do etanol, em termos de massa, foram correlacionados em função da transpiração através da utilização da regressão linear e do coeficiente de correlação ( $r^2$ ) (Rothman e Ericson, 1987).

### Fitotoxicidade do etanol

A metodologia utilizada neste experimento, o qual foi conduzido sob condições de estufa, baseou-se em diferenças de transpiração entre plantas dosadas com concentrações variadas de etanol e seus controles (não dosadas com etanol). A transpiração foi monitorada com balança analítica manual e a massa de etanol adicionada foi calculada para que a solução nutritiva alcançasse concentrações de 500, 1000 e 2000 mg/L. O experimento foi realizado de modo semi-contínuo substituindo-se totalmen-

te a solução a cada incremento na concentração de etanol, ou caso a concentração de etanol reduzisse em mais de 10% da concentração desejada. A biomassa fresca total de cada planta foi pesada antes do início das dosagens para se normalizar em peso unitário os resultados obtidos para o volume de água diário transpirado por cada planta. Desta forma, pôde-se minimizar as defasagens de volume de água transpirado ocasionadas por diferenças de biomassa entre as plantas e, assim, homogeneizar o conjunto de dados para cada tratamento. Este experimento adotou a mesma abordagem estatística dos experimentos anteriores, no entanto, por se tratarem de amostras dependentes, utilizou-se para a comparação das médias o teste-t pareado (Rothman e Ericson, 1987).

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Absorção direta do etanol

Os resultados obtidos neste experimento demonstraram que o comportamento do etanol na solução foi bastante influenciado pela presença de estacas e também pela presença isolada de suas raízes. O tratamento com estacas, por exemplo, mostrou reduções marcantes da concentração de etanol com valores médios que oscilaram de 1358 a 9 mg/L ao final do experimento, o que correspondeu

a uma redução de mais de 99% em relação à sua concentração original. O tratamento com a presença de raízes, por outro lado, foi responsável por reduzir em quase 50% a concentração de etanol na solução. Neste tratamento, os valores obtidos variaram de 1189 a 600mg/L após 4 dias do início do experimento (Figura 3). Resultados similares também foram encontrados quando os resultados obtidos foram convertidos em massa de etanol removida. O tratamento com estacas, por exemplo, mostra que a massa de etanol foi reduzida de 543 mg para 5 mg no final do experimento, sendo que no mesmo período, o tratamento com a presença de raízes reduziu massa de etanol de 475 mg para 236 mg.

A análise estatística ANOVA revelou que os valores médios para a redução do etanol no tratamento com a presença de estacas foram significativamente diferentes daqueles obtidos nos demais tratamentos. Além disso, a comparação das médias pelo teste de Tukey sugere ainda que dois principais processos estiveram envolvidos na depleção do etanol da solução: a) absorção direta e; b) sorção à biomassa radicular.

O fator de concentração na raiz (RCF) e o fator de concentração na corrente transpirativa (TSCF), têm sido utilizados em estudos em nível de fitorremediação para se prever, respecti-

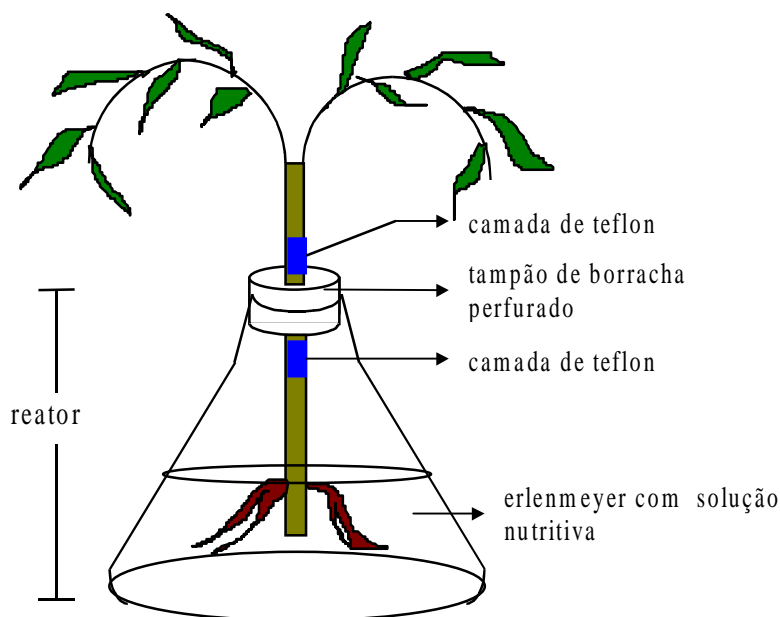


Figura 2 - Visão esquemática da inserção das estacas de *S. babylonica* nos reatores utilizados para os experimentos.

vamente, a absorção e translocação de compostos químicos orgânicos nas espécies vegetais (Briggs et al., 1982; Burken e Schnoor, 1999). Para o cálculo do RCF e do TSCF, tem que se levar em consideração o coeficiente de partição entre a água e o octanol ( $\text{Log de } K_{ow}$ ), uma propriedade físico-química que caracteriza a lipofilicidade de um dado composto químico de origem orgânica. Portanto, para compostos hidrofílicos como o etanol ( $\text{Log de } K_{ow} = -0.31$ ), espera-se uma absorção bastante limitada devido a característica lipofílica das membranas orgânicas das células da raiz (endoderme), ao passo que compostos moderadamente hidrofóbicos, como o benzeno ( $\text{Log } K_{ow} = 2.13$ ), apresentam uma probabilidade bem maior para ultrapassar as membranas da endoderme e alcançar a corrente transpirativa. No entanto, os resultados indicaram que a absorção do etanol pelas estacas foi bastante efetiva e que a entrada deste composto na raiz provavelmente ocorreu paralelamente a absorção da solução através da corrente transpirativa. Uma vez que os valores para a transpiração das estacas durante o período do experimento foram bastante elevados (média diária de  $43.2 \pm 2.7 \text{ mL/d}$ ,  $n=3$ ) pode-se inferir que as depleções do etanol na solução ocorreram em função da transpiração das estacas nos reatores. A regressão linear realizada para os valores médios encontrados para a redução da massa do etanol em função da

transpiração acumulada das estacas indicou a influência deste processo com um alto coeficiente de correlação ( $r^2 = 0.99$ ) (Figura 4). Por outro lado, na ausência de uma corrente transpirativa, como simulado para os controles somente com a presença de raízes, a depleção do etanol pareceu estar associada com o processo de sorção à superfície radicular, uma vez que a biodegradação do etanol foi impedida pela adição de azida de sódio na solução.

## Absorção direta do benzeno

O padrão semi-contínuo adotado para este experimento objetivou simular uma contaminação da água subterrânea assumindo que uma pluma contendo benzeno, uma vez dissolvida na fração aquosa do aquífero, se moveria de encontro à zona de raízes de uma população de árvores orientadas estrategicamente de modo a formar um sistema radicular denso e profundo. Para este fim, diariamente após a coleta das amostras um pequeno volume da solução nutritiva contendo benzeno a  $20 \text{ mg/L}$  era adicionado aos reatores com plantas para repor a solução perdida devido a transpiração das estacas (o volume retirado para as amostras também era repostado simultaneamente).

Os resultados para os reatores com estacas demonstraram que a concentração aquosa de benzeno foi reduzida ao redor de 70 % após o primeiro dia e por mais de 99 % após o sétimo dia (figura 6). Os valores estáveis obtidos para o controle (cuja solução continha somente benzeno e azida) serviram para demonstrar que o aparato utilizado neste experimento realmente impediu perdas deste contaminante através da volatilização. Por outro lado, as concentrações de benzeno nos reatores somente com a presença de raízes ficaram ao redor de 5 a  $9 \text{ mg/L}$  ao longo do experimento. A comparação estatística dos resultados através da ANOVA ( $P \leq 0,001$ ), com a posterior separação

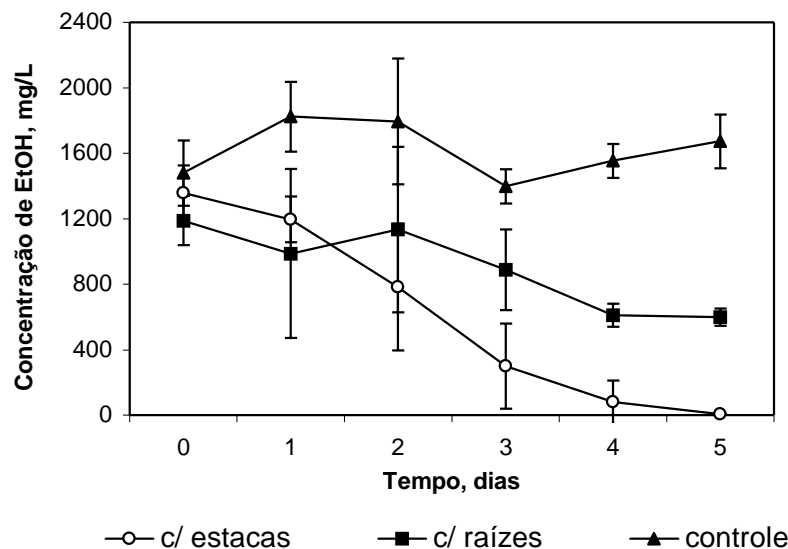


Figura 3. Concentração de Etanol na solução hidropônica em função do tempo. Os valores mostrados representam a média e desvio padrão de três repetições.

das médias pelo teste de Tukey sugere que o benzeno inicialmente sofreu um processo de sorção à biomassa radicular, porém a absorção pelas estacas juntamente com a degradação biológica foram os mecanismos predominantes, uma vez que, ao contrário do experimento com o etanol, condições totalmente estéreis não puderam ser mantidas nos reatores com estacas ao longo do experimento.

Estudos com o gênero *Populus* sp. a partir de cultivo hidropônico e no solo com o benzeno revelaram que as depleções observadas para este composto em reatores de 250 mL foram consequência de processos tais como transformações microbianas, absorção direta pelas raízes e volatilização a partir da superfície foliar (Burken, 1996). Entretanto, em nível de campo, a volatilização do benzeno é um processo que pode ser suplantado pela sua mineralização no solo, uma vez que as transformações catabólicas microbianas são geralmente intensificadas na zona da rizosfera. Consequentemente, para o desenvolvimento de sistemas de fitorremediação que possibilitem a remediação efetiva de aquíferos subterrâneos contaminados pelo benzeno serão necessários novos experimentos em escala de laboratório que busquem verificar se a velocidade de degradação deste composto na rizosfera é maior ou menor que a sua absorção e volatilização pela superfície foliar de árvores do chorão.

### Fitotoxicidade do etanol

A comparação entre as taxas transpirativas de plantas dosadas e seus controles se constitui numa maneira relativamente simples para se avaliar o po-

tencial fitotóxico de compostos químicos orgânicos sobre a fisiologia e o crescimento de espécies vegetais. O presente ensaio caracterizou-se pela avaliação do comportamento fisiológico do chorão na presença de dosagens variadas do etanol que, por ser completamente solúvel em água, pode ser encontrado em concentrações relativamente elevadas nas águas subterrâneas. Além disso, a presença de elevadas concentrações de etanol pode determinar situações de anoxia, conforme relatado por Hunt et al. (1997), o que pode ser tóxico para os microorganismos.

O resultado deste experimento, que pode ser visualizado na figura 6, revelou que os valores obtidos para a normalização da transpiração pela biomassa (em mL/g) para os dois grupos de plantas foram praticamente similares quando as dosagens de etanol estiveram na faixa de 500 a 1000 mg/L. A ausência de sintomas visíveis de fitotoxicidade, como o secamento e abscisão das folhas ou clorose, indicaram que as concentrações testadas durante os doze primeiros dias do experimento aparentemente não provocaram danos fisiológicos nas plantas. No entanto, a transpiração foi significativamente reduzida quando a concentração de etanol foi aumentada para 2000 mg/L. De fato, diferenças nas medidas de transpiração entre as plantas dosadas e os controles estiveram ao redor de 0.08 a 0.05 mL/g quando as concentrações de etanol estiveram na faixa de 500 a 1000 mg/L, ao passo que a 2000 mg/L estas diferenças subiram uma ordem de magnitude, alcançando um valor de 0.57 mL/g. Estas diferenças foram significativamente confirmadas pelo teste -t. Outros sintomas de fitotoxicidade como o secamento e

abscisão das folhas e a clorose também foram observados nesta concentração. Embora mantendo taxas reduzidas para a transpiração durante o período de alta dosagem, o comportamento transpirativo das plantas dosadas foi condizente com as variações de temperatura registradas na estufa, o que indica, acima de tudo, respostas fisiológicas estáveis mesmo sob condições de estresse. Desta forma, os resultados deste estudo mostram um possível sinal de tolerância desta espécie ao etanol, o que demanda novos estudos que possibilitem a confirmação desta hipótese.

### CONCLUSÕES

As complexas interações físico químicas e biológicas entre o etanol e os BTEX podem reduzir a eficiência da atenuação natural, uma das estratégias mais economicamente vantajosas para a remediação de aquíferos contaminados por misturas de etanol e gasolina. Ainda que conduzidos em escala de laboratório, os resultados deste estudo indicam que o chorão pode significativamente remover o etanol e o benzeno a partir de aquíferos rasos contaminados por misturas de etanol e gasolina. Desta forma, a eficiência obtida para a absorção do etanol sugere que a fitorremediação pode facilmente superar os possíveis impactos negativos ocasionados por vazamentos contendo misturas de etanol e gasolina. Adicionalmente, estas árvores podem retardar o transporte de etanol e de outros constituintes solúveis da gasolina pelo processo de sorção à superfície radicular. A presença das raízes do chorão, neste contexto, tem um papel fundamental porque podem contribuir para incrementar o teor local de carbono orgânico do aquífero como consequência dos processos de decomposição da biomassa radicular e da liberação de exudatos orgânicos. A habilidade que o chorão apresenta para enraizar sob condições de baixa oxigenação (menor que 1 mg/L de O.D.), aliada aos processos de absorção e sorção também são potencialmente vantajosos para a atenuação natural de aquíferos limitados em oxigênio, onde a possível ausência de aceptores de elétrons ocasionada pela presença do etanol não favorece biotransformações do BTEX. Desta forma, novos estudos que combinem e integrem a fitorremediação com estratégias de atenuação natural visando mitigar os impactos de vazamentos de misturas de etanol-gasolina devem ser encorajados.

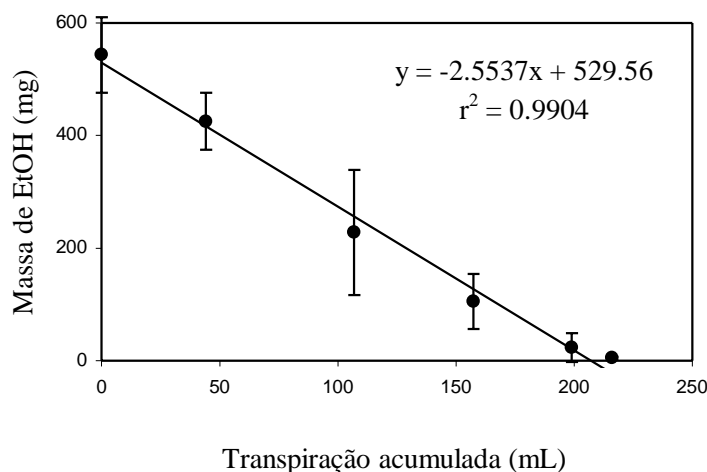


Figura 4. Massa de Etanol (em mg) na solução hidropônica em função da transpiração acumulada das estacas nos reatores.

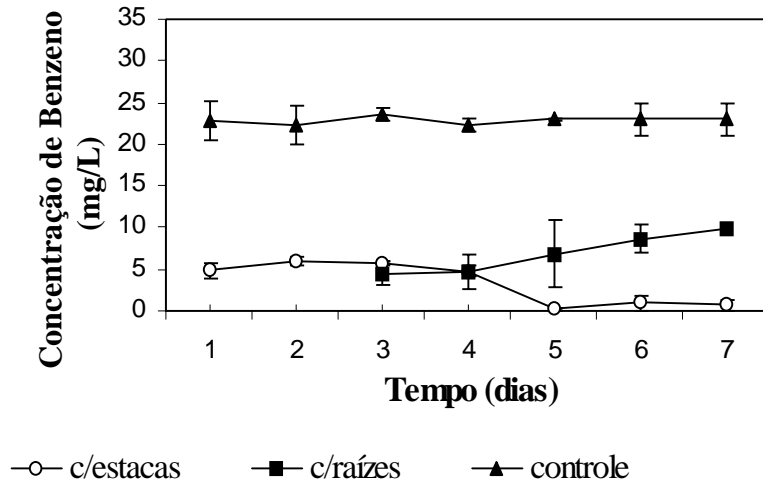


Figura 5. Concentração de Benzeno (em mg/L) na solução para reatores com a presença de estacas de *S. babylonica*. Os valores mostrados representam a média de três repetições. Barras de erro representam o desvio padrão para  $n = 3$ .

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à PETROBRÁS pelo auxílio financeiro a pesquisa e ao CNPq pela concessão da bolsa de mestrado ao primeiro autor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anderson, T.A., Walton, B.T. Fate of  $^{14}C$  trichloroethylene in the root zone of plants from a former solvent disposal site. *Environ. Toxicol. Chem.*, v.14, n.12, p.2041-47, 1995.

Bowen, G.D., Rovira, A.D. The rhizosphere. In: Waisel, Y., Eshel, A., Kafkaky, U. (ED) *Plant roots- the hidden half*. New York: Marcel-Decker Inc., 1991.

Briggs, G.G., Bromilow, R.H., Evans, A.A. Relationships between lipophilicity and root uptake and translocation of non-ionized chemicals by barley. *Pest.Sci.*, n.13, p.495-504, 1982.

Burken, J.G. Uptake and fate of organic contaminants by hybrid poplar trees. Ph.D. dissertation, Iowa City, IA, USA, 1996.

Castellane, P.D. e Araujo, J.A.C.de. Cultivo sem Solo – Hidroponia. *Jaboticabal: Unesp, SP*, 1995, 40p.

Corseuil, H.X., Alvarez, P.J.J. Natural bioremediation of aquifer material contaminated with gasoline-ethanol mixtures. *Rev. Microbiol.*, v.27, n.1, p.19-26, 1996.

Corseuil, H.X., Marins, M..D.M. Contaminação de águas subterrâneas por derramamentos de gasolina: o problema é grave? *Rev. Eng. San. e Ambiental*, v.2, n.2, p.50-54, 1997.

Corseuil, H.X., Hunt, C.S., Santos, R.C.F. dos, Alvarez, P.J.J. The influence of the gasoline oxygenate ethanol on aerobic and anaerobic *btx* biodegradation. *Wat. Res.* v.7, p.2065-72, 1998.

Duschenkov, V., Nanda Kumar, P.B.A., Motto, H. and Raskin, I. Rhizofiltration: the use of plants to remove heavy metals from aqueous streams. *Environ.Sci.Technol.*, 29, p.1239-1245, 1995.

Glass, D.J. Current market trends in phytoremediation. *Int.J.Phyto.*, v.1, n.1, p.1-8, 1999.

Hoagland, D.R., Arnon, D.I. The water culture method of growing plants without soil. *California Agriculture Experiment Station: Circular 347*, 1950.

Moreno, F.N. Avaliação experimental do potencial do chorão (*Salix babylonica*-Linnaeus) na fitorremediação de aquíferos contaminados por nitratos, etanol e benzeno. *Dissertação de Mestrado, Florianópolis, SC.*, 1998.

Nair, D.R., Burken, J.G., Licht, L.A., Schnoor, J.L. Mineralization and uptake of triazine pesticide in soil-plant systems. *J. of Environ. Eng.*, v.119, n.5, p.986-93, 1993.

Nellesen, J.E., Fletcher, J.S. Assessment of published literature pertaining to the uptake/accumulation, translocation, adhesion and biotransformation of organic chemicals by vascular plants. *Environ. Toxicol. and Chem.*, v.12, p. 2045-52, 1993.

Nyer, E.K., Gatliff, E.G. *Phytoremediation*, GWMR, winter, p.58-62, 1996.

Paterson, K.G., Schnoor, J.L., Fate of alachlor and atrazine in a riparian zone field site. *Wat. Environ. Res.*, v.64, n.3, p. 274-283, 1992.

Paterson, K.G., Schnoor, J.L. Vegetative alteration of nitrate fate in unsaturated zone. *J. of Environ. Eng.*, v.119, n.5, p.986-93, 1993.

Reitz, R. *Salicaceae* In: Reitz, R (Ed.) *Flora Ilustrada Catarinense - I Parte, Itajaí, SC*, 1983

Rothman, E.D., Ericson, W.A. *Statistics Methods and Applications*. 2<sup>nd</sup> Ed. Iowa, USA: Kendall/Hunt Publishing Company, 1987, 753 p.

Ryan, J.A., Bell, R.M., Davidson, J.M., O'Connor, G.A. Plant uptake of non-ionic organic chemicals from soils. *Chemosphere*, v.17, n.12, p. 2299-23, 1988.

Schnoor, J.L., Licht, L.A., McCutcheon, S.C., Wolfe, L.N. and Carreira, L.H. *Phytoremediation of organic and nutrient contaminants*, *Environ., Sci. and Technol.*, v.29, n.7, p.318-23 A, 1995.

Thompson, P.L., Ramer, L.A., Schnoor, J.L. Uptake and transformation of TNT by hybrid poplar trees. *Environ. Sci. and Technol.*, v.32, p. 975-80, 1998.

Walton, B.T., Anderson, T.A. Microbial degradation of trichloroethylene in the rhizosphere: potential application to biological remediation of waste sites. *Applied and Environ. Technol.*, v.4, p.1012-16, 1990.

## Endereço para correspondência

Henry Xavier Corseuil

UFSC - Caixa Postal 476  
CEP 88070-910  
Florianópolis - SC

Tel (48) 331-7569

E-mail: corseuil@ens.ufsc.br

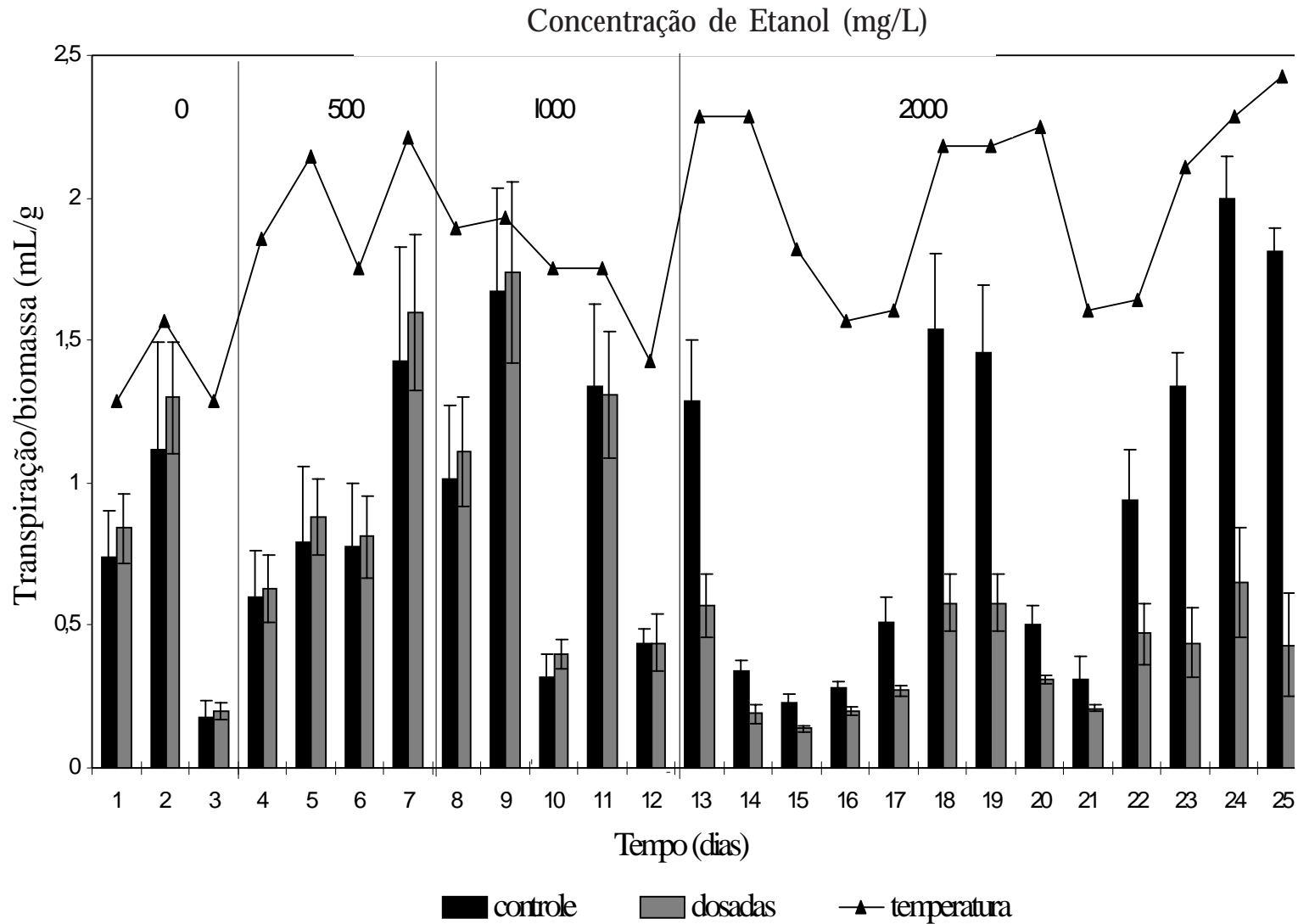


Figura 6. Efeito de concentrações crescentes de etanol sobre a transpiração de estacas do chorão. Valores foram normalizados pela biomassa total de cada planta. Controles referem-se aos reatores com estacas e solução nutritiva. Dosadas referem-se aos reatores com estacas e solução nutritiva suplementada com etanol. A temperatura refere-se à média diária no interior da estufa. Barras de erro representam  $\pm 1$  desvio padrão da média de três replicatas.