



## VI-267 – AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ESPÉCIES VEGETAIS NA FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS COM ÓLEO LUBRIFICANTE USADO

**Marcia Marques<sup>(1)</sup>**

Prof<sup>ª</sup>. Adj. Depto de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). BSc e MSc em Biologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), PhD em Engenharia Química pelo *Royal Institute of Technology* (Estocolmo), e Pós-doutorado pela *University of Kalmar* (Kalmar), Suécia. Orienta alunos de iniciação científica, mestrado e doutorado. Líder do Grupo de pesquisa *BioProcess*.

**Christiane Rosas Chafim Aguiar**

Doutoranda em Meio Ambiente da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), bolsista FAPERJ, M.Sc. Engenharia Ambiental pela Faculdade de Engenharia-UERJ (2006), Bacharel em Ciências Biológicas - Ênfase em Meio Ambiente, Centro Universitário da Cidade (2004). Área de atuação: Fitorremediação de solos contaminados com petróleo, análise de risco e impacto ambiental. Membro do Grupo de pesquisa *BioProcess*.

**Jonatas José Luis Silva**

Mestre em Engenharia Ambiental pela Faculdade de Engenharia-UERJ (2007), Especialização em Engenharia Sanitária e Ambiental-UERJ (2005), Bacharel em Ciências Biológicas pela UERJ (2006) e Licenciado em Ciências Biológicas (2002). Área de atuação: Biotecnologia, com ênfase em Cultura de Tecidos Vegetais Micropropagação *in vitro* e biodeteção de pesticidas. Membro do Grupo de pesquisa *BioProcess*.

**Weslei Augusto Aguiar de Sousa**

Bolsista TCT - Nível Superior da FAPERJ, Especialização em Ensino de Ciências CEFETEC (2007), Licenciado em Ciências Agrícolas pela UFRRJ (2005). Área de atuação: Fitorremediação de solos contaminados com petróleo e derivados. Membro do Grupo de pesquisa *BioProcess*.

**Sergio Machado Correa**

Professor Adjunto da Faculdade de Tecnologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro UERJ, Mestre e Doutor em Físico-Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ. Líder dos Grupos de pesquisa *BioProcess*.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** UERJ, Rua São Francisco Xavier, 524, sala 5024 Bloco E, CEP 20550-900, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, e-mail: [marciamarques@pq.cnpq.br](mailto:marciamarques@pq.cnpq.br)

### RESUMO

Para tratamento da contaminação ambiental, várias tecnologias têm sido desenvolvidas e testadas ao longo das últimas décadas, dentre elas a fitorremediação (tecnologia ambiental para remediação de áreas contaminadas, de custo relativamente baixo, que utiliza plantas e sua comunidade microbiana associada ao sistema radicular para degradar, isolar ou imobilizar poluentes no solo e águas subterrâneas, além de promover estética agradável). A fitorremediação vem se tornando uma opção promissora para integrar um conjunto de tecnologias ambiental e financeiramente viáveis. O presente trabalho avaliou o desempenho em termos de germinação e de produção de biomassa radicular e aérea de seis espécies vegetais (*Ricinus communis*, *Helianthus annuus*, *Glicine max*, *Acacia mangium*, *Arachis hypogaeae*, *Raphanus sativus*) pertencentes a diferentes grupos (plantas de hábitos arbustivos, arbóreos, leguminosas, oleaginosas com potencial de produção de biodiesel e florestais) na presença de óleo lubrificante usado, em seis concentrações (0,01%; 0,05%; 2%; 4%; 6% e 8% p/p) e o controle em casa de vegetação. Observou-se que dependendo da espécie e da concentração do óleo, o mesmo pode inibir, adiar ou favorecer a germinação, assim como a produção de biomassa. Todas as espécies tiveram a germinação afetada significativamente pelo aumento da concentração do óleo lubrificante. Em condições experimentais similares *A. mangium*, *R. sativus* e *G. max* não tiveram sua biomassa afetada significativamente pelo aumento da concentração do óleo lubrificante usado. As demais espécies apresentaram efeitos de toxicidade. A seleção da espécie deve ser baseada no comportamento desta nas condições específicas da área a ser remediada. Devido ao baixo custo e à rapidez de execução (menos de um mês), testes de germinação e produção inicial de biomassa são sugeridos como estratégia para rastreamento e avaliação de várias espécies para identificar a melhor candidata com potencial de remediação de uma área.

**PALAVRAS-CHAVE:** Remediação de áreas contaminadas, Fitorremediação, Fitotoxicidade, Biomassa seca, Hidrocarbonetos de Petróleo.



## INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas resultantes da industrialização é a contaminação de solos com compostos químicos tóxicos e perigosos. De acordo com a CETESB (2001), área contaminada é a área onde há comprovadamente poluição causada por quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados, e que determina impactos negativos sobre os bens a proteger. A CETESB divulgou pela primeira vez, em maio de 2002, a existência de 255 áreas contaminadas somente no Estado de São Paulo. O registro das áreas contaminadas vem sendo constantemente atualizado e após 7 (sete) atualizações, em novembro de 2007, 2.272 áreas contaminadas haviam sido contabilizadas naquele estado, sendo um grande número associado aos derivados de petróleo (CETESB, 2008). A contaminação de solos gera um passivo ambiental de grande significância e restringe ou impede os usos do solo, muitas vezes em regiões de grande valor imobiliário.

A atividade petrolífera é uma das atividades industriais que mais oferece risco ao meio ambiente, pois pode ocasionar a contaminação dos solos, águas e ar por vários compostos orgânicos ao longo de sua cadeia produtiva.

A existência de uma área contaminada por petróleo e/ou seus derivados pode gerar problemas como danos à saúde humana, comprometimento da qualidade dos recursos hídricos, restrições ao uso do solo e sérios danos à biota.

Várias tecnologias para tratamento de solos contaminados têm sido desenvolvidas e testadas ao longo da última década, no entanto, em muitos países esta remediação fica restrita às suas condições econômicas. Vários processos de tratamentos químicos e físicos têm sido desenvolvidos e testados para remover os hidrocarbonetos de petróleo do solo (Stegmann *et al.*, 2001), mas a aplicação destes métodos é geralmente onerosa e ambientalmente não adequada, pois promove a desestruturação do solo, a redução da biodiversidade, além de transferir um problema de poluição em meio sólido em geral para um meio líquido.

A contaminação de solos por óleo lubrificante usado representa um risco de multi-contaminação tendo em vista a presença não apenas de hidrocarbonetos de petróleo mas também de metais tóxicos, resultantes do desgaste de motores, etc. Por esse motivo, estudos de remediação de solos contaminados por óleo lubrificante usado representam uma oportunidade para avaliação dos aspectos relevantes no tratamento de áreas multi-contaminadas.

As tecnologias de biorremediação e de fitorremediação surgem com ênfase a partir de meados dos anos 90, como opção promissora para integrar um conjunto de tecnologias ambiental e financeiramente viável. A fitorremediação é uma biotecnologia de custo relativamente baixo, que utiliza plantas e comunidade microbiana associada ao sistema radicular para degradar, isolar ou imobilizar poluentes no solo e águas subterrâneas, além de promover estética agradável. Estes fatores a tornam muito atraente, pois é um procedimento passivo, esteticamente agradável, com potencial de remediação de uma grande variedade de contaminantes (USEPA, 1996; Frick *et al.*, 1999). Além das vantagens mencionadas, promove ainda a melhoria da qualidade do solo, aumentando a quantidade de carbono orgânico, melhorando sua estrutura, porosidade e infiltração da água (Cunningham *et al.*, 1996), reduzindo a erosão. A concepção funcional da fitorremediação é baseada na fisiologia vegetal, na bioquímica do solo e na química dos contaminantes (Hinchman *et al.*, 1998).

O objetivo geral do presente trabalho foi testar a tolerância de espécies vegetais a solos contaminados por óleo lubrificante usado, avaliando para tanto, a taxa de germinação e a produção de biomassa aérea e radicular como indicadores do potencial de uso em projetos de fitorremediação.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi conduzida revisão bibliográfica abrangendo aspectos tais como: caracterização do contaminante estudado (óleo lubrificante usado), interação contaminante-solo, atividades microbiológicas e espécies vegetais com propriedades ou potencial de uso na fitorremediação, com o objetivo de obter conhecimentos acerca dos processos que participam da fitorremediação. Para tanto, foi utilizado o sistema de busca disponibilizado pelo sistema CAPES Periódicos.



A seleção das espécies utilizadas nos experimentos do presente estudo foi baseada na lista publicada pelo Phytomet Database (Phytomet, 2008), na consulta com especialistas e na literatura científica. Foram utilizados critérios distintos para seleção, para que o grupo de espécies testadas fosse heterogêneo o suficiente para cobrir uma gama diversificada de atributos, tais como: (i) espécies não comestíveis *in natura* e pertencentes a diferentes grupos (florestais, oleaginosas e gramínea); (2) velocidade de crescimento e produção de biomassa (remediação rápida); (iii) espécies nativas, para uso próximo aos ecossistemas frágeis ou áreas de proteção ambiental; (iv) adaptação às condições edafo-climáticas locais; e (v) potencial de produção de biodiesel. Inicialmente, foram conduzidos experimentos para selecionar espécies com potencial para fitorremediação, cujas espécies selecionadas foram: *G. max* (Gm), *R. communis* (Rc), *H. annuus* (Ha), *A. hypogaea* (Ah), *R. sativus* (Rs), e *A. manguium* (Ac).

A consulta bibliográfica revelou que os estudos de tolerância de espécies vegetais a concentrações de petróleo (óleo cru) no solo apresentavam limites dependendo da espécie em 3% e 5% (MERKL et al., 2004), 6% (TAVARES et al., 2005). Por isso foi feita uma escala de concentrações do óleo lubrificante usado para avaliação da tolerância das espécies vegetais utilizadas iniciando em concentrações de 0,1% até um máximo de 8% (peso/peso seco).

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Seropédica da Pesagro-Rio, sob as condições agroclimáticas de 16/05/2008 (data de implantação) a 08/06/2008. O óleo lubrificante foi adicionado à areia fina (0,20-0,05 mm) previamente esterilizada a 120°C (1 atm) durante uma hora. A areia esterilizada úmida foi misturada nas concentrações de 0% (controle), 0,01%; 0,05%; 2%; 4%, 6% e 8% (peso/peso seco). Antes do plantio as sementes foram desinfetadas com solução de hipoclorito 5% por duas horas e enxaguadas com água destilada. Caixas plásticas transparentes (nas dimensões: 16 x 25 x 6,5 cm) foram preenchidas com 1kg de areia e usadas para todas as espécies. Antes de usadas às caixas foram desinfetadas em solução de hipoclorito 0,5% por duas horas. Foram feitas seis repetições com trinta sementes em cada, resultando em quarenta e duas unidades experimentais para cada espécie testada.

De acordo com as instruções do Manual Brasileiro para Análise de Sementes (Brasil, 1992) foram realizadas duas contagens (precoce e tardia) das sementes da seguinte forma: as sementes de *Glycine max* foram contadas no 5º e 8º dias após o plantio, as sementes de *Ricinus communis* foram contadas no 7º e 14º dias após o plantio, *Helianthus annuus* foram contadas no 4º e 10º dia após o plantio, as sementes de *Arachis hypogaea* foram contadas no 5º e 10º dia, as sementes de *Raphanus sativus* foram contadas no 4º e 10º dia e as sementes de *Acacia manguium* foram contadas no 7º e 21º dia. Com o auxílio uma planilha foram identificadas as plântulas que germinaram precoce ou tardiamente. Após a última contagem todas as plântulas foram retiradas do substrato, lavadas e separadas a parte aérea da raiz. O material foi seco em estufa a 60°C por 48 h e em seguida pesado para determinação da biomassa seca aérea e radicular para cada tratamento.

Estatísticas descritivas foram definidas, com o objetivo de melhor conhecer os dados obtidos para as variáveis biométricas estudadas (biomassa aérea, biomassa radicular, biomassa total e germinação) com N = 252. Foram conduzidos testes de Normalidade Shapiro-Wilk ( $\alpha = 0,05$ ), Análise de Variância (ANOVA) e Teste de Tukey. Como os dados não seguiram distribuição normal, foi realizada transformação dos dados. Para efeito de análise de possíveis efeitos da presença do óleo no solo sobre a biometria das plantas, foram realizados a título de comparação das médias o Teste Tukey, e para verificar a relação entre duas variáveis, Análise de Regressão. O software estatístico utilizado foi o SISVAR 4.3 rode (UFLA, 2008).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Teste de Normalidade Shapiro-Wilk ( $\alpha = 0,05$ ), revelou que a maioria dos dados não seguiam distribuição normal e os dados originais foram transformados em  $\sqrt{x+1}$ . A tabela 1 apresenta a Análise de Variância da biomassa e da germinação de diferentes espécies de plantas em solo tratado com diferentes concentrações de óleo lubrificante usado.

**Tabela 1: Análise de Variância de biomassa e germinação de diferentes espécies de plantas em solo tratado com diferentes concentrações de óleo lubrificante usado.**

FV	GL	Quadrado médio			
		BA_Tot	BR_Tot	BioTot	GermTot
Concentração	6	1,2520**	1,0493**	2,9962**	36,4849**
Espécies	5	12,9702**	2,0875**	17,7702**	39,5689**
Conc. X Esp.	30	0,2483**	0,2417**	0,5067**	1,0566**
Repetição/Bloco	5	0,0562**	0,0155ns	0,0917**	0,6337**
Erro	205	0,0330	0,0123	0,0436	0,2504
CV (%)		12,95	9,27	13,70	16,95

De acordo com a Análise de Variância, todas as variáveis são afetadas significativamente pela presença de óleo comparados ao controle ( $\alpha = 0,05$ ), exceto o efeito de blocos na biomassa radicular total (soma da biomassa radicular precoce e tardia). Os Coeficientes de Variação CV, apresentam valores baixos (abaixo de 25%), ilustrando a homogeneidade dos dados.

#### Biomassa Total BA\_TOT

A Tabela 2 apresenta o teste de média (Teste de Tukey a 5%) referente à biomassa total da parte aérea avaliada (biomassa aérea precoce e tardia).

**Tabela 2: Teste de média referente à biomassa total da parte aérea avaliada.**

Espécies <sup>1</sup>	Concentrações <sup>2</sup>						
	0%	0,01%	0,05%	2%	4%	6%	8%
Acácia	1,043a	1,048a	1,034a	1,012a	1,008a	1,002a	1,000a
Amendoim	3,015a	2,873a	3,049a	2,462b	2,286b	2,237b	1,526c
Girassol	1,430ab	1,630a	1,390abc	1,297abcd	1,173bcd	1,081cd	1,022d
Mamona	1,611a	1,653a	1,661a	1,494a	1,484a	1,169b	1,016b
Nabo Forrageiro	1,116a	1,126a	1,090a	1,092a	1,054a	1,060a	1,020a
Soja	1,124a	1,216a	1,274a	1,082a	1,010a	1,000a	1,000a

<sup>1</sup>Dados originais transformados em  $\sqrt{x+1}$ .

<sup>2</sup>Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Letras iguais não afetadas significativamente, letras diferentes afetadas significativamente.

Observa-se que as espécies com biomassa aérea total mais afetadas pelo aumento da concentração do óleo lubrificante usado foram: girassol, amendoim e mamona, embora nas concentrações 0,01% e 0,05%, algumas espécies tenham apresentado um pequeno aumento na produção de biomassa aérea total (exemplo: acácia na concentração 0,01%, amendoim na concentração 0,05%, girassol na concentração 0,01%, mamona nas concentrações 0,01% e 0,05%, nabo forrageiro na concentração 0,01% e soja nas concentrações 0,01% e 0,05%). O nabo forrageiro, a acácia e a soja não foram afetadas significativamente pelo aumento da concentração de óleo lubrificante usado.

A Figura 1 apresenta a análise de regressão da biomassa aérea total relacionada à concentração de óleo lubrificante usado.

Observa-se que a análise de regressão confirma a observação do Teste de Tukey, pois as espécies mais afetadas pelo aumento da concentração de óleo também foram o amendoim, o girassol e a mamona.

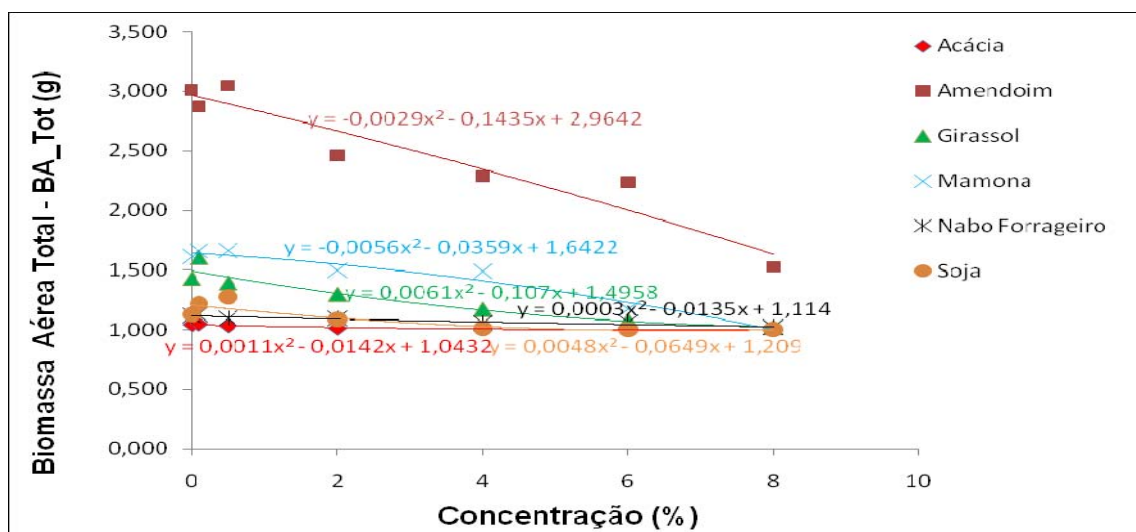


Figura 1: Análise de Regressão da Biomassa Aérea Total relacionada a concentração de óleo lubrificante usado (os dados originais foram transformados em  $\sqrt{x+1}$ ).

### Biomassa Radicular BR\_TOT

A Tabela 3 apresenta o teste de média (Teste de Tukey a 5%) referente à biomassa total da parte radicular avaliada (biomassa radicular precoce e tardia).

Observa-se que as espécies nas quais a biomassa radicular total foi significativamente afetada pelo aumento da concentração do óleo lubrificante usado foram: girassol, amendoim e mamona, embora nas concentrações 0,01% e 0,05%, algumas espécies apresentaram um pequeno aumento na produção de biomassa radicular total (exemplo: acácia na concentração 0,01%, amendoim nas concentrações 0,01% e 0,05%, girassol nas concentrações 0,01% e 0,05%, mamona nas concentrações 0,01% e 0,05%, nabo forrageiro nas concentrações 0,01% e 0,05% e soja nas concentrações 0,01% e 0,05%). O nabo forrageiro, a acácia e a soja não tiveram sua biomassa radicular total significativamente afetada pelo aumento da concentração de óleo lubrificante usado.

Tabela 3: Teste de média referente à biomassa total da parte radicular avaliada.

Espécies <sup>1</sup>	Concentrações <sup>2</sup>						
	0%	0,01%	0,05%	2%	4%	6%	8%
Acácia	1,017a	1,024a	1,016a	1,006a	1,002a	1,000a	1,000a
Amendoim	2,046a	2,119a	2,152a	1,439b	1,167c	1,133c	1,023c
Girassol	1,272bc	1,702a	1,728a	1,415b	1,096cd	1,035d	1,005d
Mamona	1,272ab	1,274ab	1,417a	1,128bc	1,071c	1,012c	1,004c
Nabo Forrageiro	1,051a	1,125a	1,132a	1,066a	1,021a	1,010a	1,008a
Soja	1,040a	1,069a	1,068a	1,007a	1,009a	1,000a	1,000a

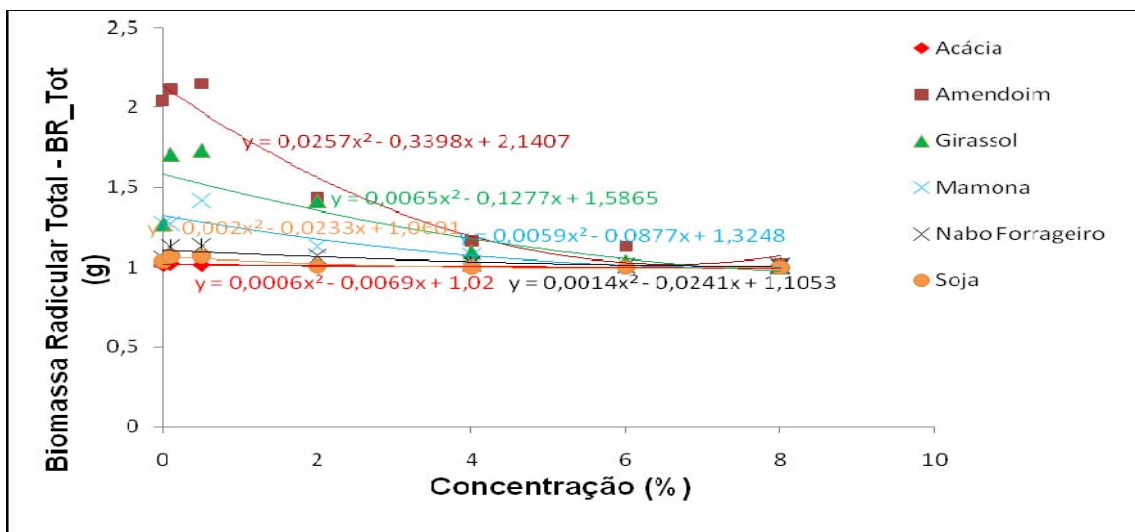
<sup>1</sup>Dados originais transformados em  $\sqrt{x+1}$ .

<sup>2</sup>Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Letras iguais não afetadas significativamente, letras diferentes afetadas significativamente.

A Figura 2 apresenta a análise de regressão da biomassa radicular total relacionada à concentração de óleo lubrificante usado. Observa-se que a análise de regressão confirma a observação do Teste de Tukey, pois as espécies que apresentaram maior decréscimo no gráfico de regressão, e, portanto as mais afetadas pelo aumento da concentração de óleo, também foram o amendoim, o girassol e a mamona.





**Figura 2: Análise de Regressão da Biomassa Radicular Total relacionada a concentração de óleo lubrificante usado (os dados originais foram transformados em  $\sqrt{x+1}$ ).**

#### Biomassa total BIO\_TOT

A Tabela 4 apresenta o teste de média (Teste de Tukey a 5%) referente à biomassa total (biomassa total precoce e tardia). Observa-se que as espécies com biomassa total significativamente afetada pelo aumento da concentração do óleo lubrificante usado foram: amendoim, mamona, e girassol. Nas concentrações 0,01% e 0,05%, algumas espécies apresentaram um pequeno aumento na produção de biomassa total (exemplo: acácia na concentração 0,01%, amendoim na concentração 0,05%, mamona nas concentrações 0,01% e 0,05%, nabo forrageiro nas concentrações 0,01% e 0,05% e soja nas concentrações 0,01% e 0,05%). O nabo forrageiro, a acácia e a soja não tiveram sua biomassa radicular total significativamente afetada pelo aumento da concentração de óleo lubrificante usado.

**Tabela 4: Teste de média referente à biomassa total avaliada.**

Espécies <sup>1</sup>	Concentrações <sup>2</sup>						
	0%	0,01%	0,05%	2%	4%	6%	8%
Acácia	1,056a	1,071a	1,049a	1,018a	1,010a	1,002a	1,000a
Amendoim	3,505a	3,426a	3,596a	2,673b	2,365bc	2,299c	1,537d
Girassol	1,632b	2,146a	1,980ab	1,637b	1,253c	1,113c	1,026c
Mamona	1,789ab	1,832ab	1,931a	1,580ab	1,527bc	1,175cd	1,020d
Nabo Forrageiro	1,162a	1,239a	1,212a	1,152a	1,073a	1,070a	1,028a
Soja	1,158a	1,273a	1,327a	1,088a	1,012a	1,000a	1,000a

<sup>1</sup>Dados originais transformados em  $\sqrt{x+1}$ .

<sup>2</sup>Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,01$ ).

Letras iguais não afetadas significativamente, letras diferentes afetadas significativamente.

A Figura 3 apresenta a análise de regressão da biomassa total relacionada à concentração de óleo lubrificante usado. As espécies mais afetadas pelo aumento da concentração de óleo, também pela análise de regressão foram o amendoim, o girassol e a mamona.

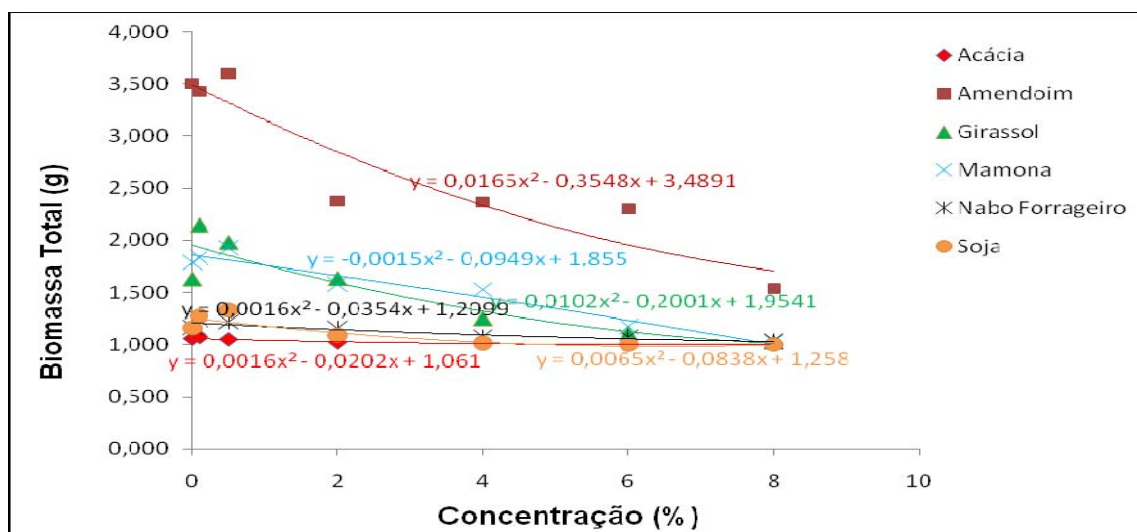


Figura 3: Análise de Regressão da Biomassa Total relacionando a concentração de óleo lubrificante usado (os dados originais foram transformados em  $\sqrt{x+1}$ ).

### Germinação

A Tabela 5 apresenta o teste de média (Teste de Tukey a 5%) referente à germinação total avaliada (germinação precoce e tardia).

Tabela 5: Teste de média referente à germinação total avaliada.

Espécies <sup>1</sup>	Concentrações <sup>2</sup>						
	0%	0,01%	0,05%	2%	4%	6%	8%
Acácia	3,762a	3,948a	3,970a	2,544b	2,184b	1,000c	1,000c
Amendoim	5,161a	4,965a	5,208a	3,917b	3,362b	3,097b	1,940c
Girassol	5,145a	5,207a	4,770b	4,241b	2,911c	2,528c	1,585d
Mamona	2,638a	2,801a	2,772a	2,153ab	2,051ab	1,304bc	1,069c
Nabo Forrageiro	4,286a	4,541a	4,155a	3,958ab	3,193b	3,269b	2,002c
Soja	1,965ab	2,347a	2,467a	1,481bc	1,069c	1,000c	1,000c

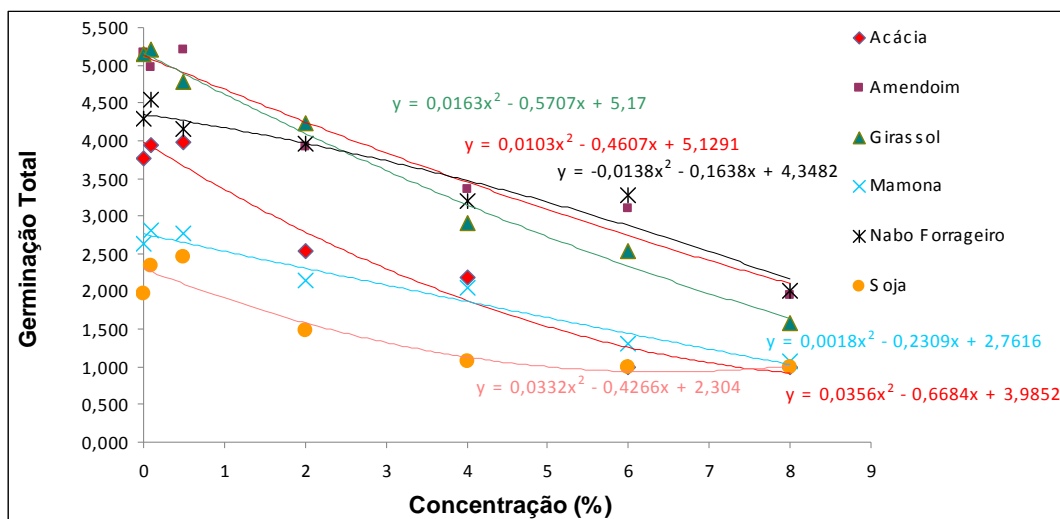
<sup>1</sup>Dados originais transformados em  $\sqrt{x+1}$ .

<sup>2</sup>Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,01$ ).

Letras iguais não afetadas significativamente, letras diferentes afetadas significativamente.

Observa-se que as todas as espécies obtiveram a germinação total significativamente afetada pelo aumento da concentração do óleo lubrificante usado, embora nas concentrações 0,01% e 0,05%, algumas espécies apresentaram um pequeno aumento na germinação (exemplo: acácia nas concentrações 0,01% e 0,05%, amendoim na concentração 0,05%, girassol na concentração 0,01%, mamona nas concentrações 0,01% e 0,05%, nabo forrageiro na concentração 0,01% e 0,05% e soja nas concentrações 0,01% e 0,05%).

A Figura 4 apresenta a análise de regressão da biomassa total relacionada à concentração de óleo lubrificante usado.



**Figura 4: Análise de Regressão da Germinação Total relacionando a concentração de óleo lubrificante usado (os dados originais foram transformados em  $\sqrt{x+1}$ ).**

Observa-se que a análise de regressão confirma a observação do Teste de Tukey, pois todas as espécies apresentaram decaimento no gráfico de regressão, e, portanto todas tiveram a germinação afetada pelo aumento da concentração de óleo.

Sabe-se que o crescimento da parte aérea pode ser reduzido como efeito ao estresse do sistema radicular, afetando desta forma a produção de biomassa da planta (Smith et al., 1989). Uma variável importante que sugere o potencial para uso de uma espécie na fitorremediação é o desenvolvimento do sistema radicular, pois se na presença do contaminante as raízes são afetadas, o metabolismo da planta fica comprometido. Hernandez-Valencia & Mager (2003) observaram que a biomassa longitudinal da raiz de braquiária crescida em solo contaminado com petróleo boliviano ficava reduzida, e em consequência, o volume de solo em contato com a zona da rizosfera e a profundidade atingida pela raiz também ficam reduzidos (Merkl et al., 2004a).

O resultado de biomassa afetada nas espécies testadas frente a diferentes concentrações de óleo lubrificante usado no solo está de acordo com resultados anteriormente obtidos (Xu & Johnson, 1995; Pezeshki et al., 2000; Hernandez-Valencia & Mager, 2003; Gill & Nyawuame, 2006; Sharifi, et al., 2007). Alguns desses autores também observaram a presença de uma película de óleo na região cortical e da epiderme da raiz, caule e folhas, igualmente observadas no presente estudo na raiz e parte aérea da soja cultivada em solo recentemente contaminado. Segundo Hernandez-Valencia & Mager (2003), quando esta película de óleo cobre as raízes ela altera a absorção de água e nutrientes. No caso dos hidrocarbonetos penetrarem nos tecidos das plantas, eles poderiam danificar a membrana das células e causar perda de conteúdo celular, bloqueando os espaços intercelulares e a redução do transporte de metabólitos e, assim como as taxas de respiração e fotossíntese. A redução de biomassa pode ser atribuída à redução de assimilados transportados para crescimento da planta (Xu & Johnson, 1995; Pezeshki et al., 2000).

Embora as espécies tenham apresentado uma resposta padrão para as variáveis analisadas, um pequeno aumento na taxa de germinação foi evidenciado em algumas concentrações. Esse suave aumento se dá devido às propriedades físico-químicas do óleo, pois o mesmo forma uma película no substrato permitindo uma menor evaporação de água, aumentando desta forma, a viabilidade para a germinação e o aumento da produção de biomassa.





## CONCLUSÕES

O presente estudo avaliou a tolerância de seis espécies vegetais em sete concentrações de óleo lubrificante usado, utilizando-se condições experimentais similares.

Observou-se que a presença de óleo lubrificante usado, dependendo: (1) da concentração no meio, (2) do tipo de óleo e da idade do mesmo, (3) da espécie vegetal e, (4) das condições experimentais/ambientais; pode produzir uma gama complexa de respostas, tais como: não ter qualquer efeito, inibir totalmente, adiar, antecipar ou até aumentar a taxa de germinação e/ou a produção de biomassa radicular e/ou aérea. A seleção de espécies com potencial para fitorremediação deve ser baseada, portanto, no comportamento do vegetal nas condições e características específicas da área a ser remediada, tais como tempo de contaminação (“aging”) e composição e concentração do contaminante, entre outros.

Fatores que adicionalmente influenciam os resultados dos testes de toxicidade como disponibilidade hídrica, formato do recipiente utilizado, luminosidade e radiação solar, temperatura, qualidade do lote de sementes devem ser cuidadosamente considerados na fase de planejamento de um experimento ou remediação em escala de campo.

Recomenda-se, que um “screening” seja realizado nas condições experimentais mais próximas o possível da área a ser remediada, com espécies locais que possuam potencial para fitorremediação, para seleção da espécie a ser recomendada.

A redução da taxa de germinação e da produção de biomassa em algumas espécies investigadas no presente estudo pode ser atribuída não somente à toxicidade do óleo, mas também à deficiência hídrica e/ou saturação de água provocada pela formação de uma película de óleo, como foi observado, no presente estudo.

Diferentes espécies apresentam demandas distintas quanto às condições edafoclimáticas (clima, solo e relevo) e podem ser recomendadas ou não, em função do uso do solo (urbano, agrícola, industrial), da localização da área a ser remediada (próxima a centros urbanos ou a áreas de proteção ambiental), o que pode determinar maior ou menor urgência, pois áreas contaminadas próximas a APAs (Áreas de Proteção Ambiental), o uso de espécies exóticas agressivas não é recomendado, devido ao risco de comprometer a biodiversidade nativa; e áreas próximas a centros urbanos, que necessita sofrer um processo de remediação rápida – devido ao fato de acarretar riscos à saúde humana – necessita de espécies com germinação precoce e crescimento de biomassa rápido. Tal estratégia tem como objetivo antecipar o processo de remediação e nesses casos, plantas cultivadas melhoradas geneticamente (exóticas ou não) são as mais adequadas, tais como soja e girassol.

Sabe-se que a capacidade de degradação do xenobiótico não está obrigatoriamente relacionada à tolerância na fase de germinação e produção inicial de biomassa de espécies vegetais ao contaminante, estudos adicionais devem ser realizados para avaliação do potencial de rizodegradação, fitoextração, fitoacumulação, fitodegradação e fitovolatilização das respectivas espécies durante todo o ciclo de desenvolvimento da planta. Também são necessários mais estudos para avaliar os efeitos específicos dos óleos nos processos vegetais.

A partir dos testes realizados em casa de vegetação, o desempenho das espécies pode ser analisado com base nos seguintes critérios: 1º) ausência total de efeito do óleo sobre qualquer variável; 2º) ausência de redução da germinação total; 3º) ausência de redução da biomassa radicular; 4º) ausência de redução da biomassa aérea. Os melhores desempenhos obtidos foram na seguinte ordem: 1ª) nabo forrageiro e acácia; 2ª) soja e mamona; 3ª) girassol e amendoim.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelos auxílios conferidos ao Grupo de Pesquisa *BioProcess* ao longo dos últimos anos que permitiram a estruturação do Laboratório de Biorremediação e Fitotecnologias - LABIFI da UERJ e pela bolsa de produtividade conferida à 1ª autora. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro - FAPERJ pelas bolsas de doutorado e TCT concedidas à 2ª autora e ao 4º autor respectivamente.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BACKER, K.H e HERSON, D.S. Bioremediation. McGraw-Hill, New York, pp. 97-120. 1994.
2. BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Regras para análise de sementes. Brasília, 1992. 365 p.
3. Companhia e Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Relatório Técnico. Relatório Técnico. 2001<sup>a</sup>.
4. Companhia e Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Solo. Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas\\_contaminadas/relação\\_áreas.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/relação_áreas.asp) Acesso em: Julho de 2008.
5. CUNNINGHAM, S.D.; ANDERSON, T.A.; SCHWAB, P. AND HSU, F. C. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. Adv. Agron.v.56, p. 55 1996.
6. FRICK, C.M.; FARREL, R.E.; GERMIDA, J.J. Assessment of Phytoremediation as an In-Situ Technique for Cleaning Oil-Contaminated Sites. University of Saskatchewan (Department of Soil Science)-Canada, 1999.
7. GILL, L.S.; NYAWUAME, H.G.K. Effect of crude oil on the growth and anatomical features of *Chromolaena odorata* (L.) K. & R. Em <<http://www.ehs.cdu.edu.au/chromolaena/pubs/oil.html>> Acesso em 03 de maio de 2006.
8. HERNANDEZ-VALENCIA, I.; MAGER, D. Uso de *Panicum maximum* y *Brachiária brizantha* para fitorremediar suelos contaminados con un crudo de petróleo liviano. Biagro, v.3, n.15, p. 149-155, 2003.
9. HINCHMAN, R.R.; NEGRI, M.C. & GATLIFF, E.G. Phytoremediation: using green plants to clean up contaminated soil, groundwater, and wastewater. Lilinois, Report of Argonne National Laboratory and Applied Natural Sciences. 13p. 1998.
10. MERKL, N.; SCHULTZE-KRAFT, R.; INFANTE, C. Phytoremediation in the tropics – The effect of Crude Oil on the Growth of Tropical Plants. Bioremediation Journal, v.8, p.177-184, 2004.
11. PEZESHKI, S. R.; HESTER, W.; LIN, Q.; NYMAN, J. A. The effects of oil spill and clean-up on dominant US Gulf coast marsh macrophytes: a review. Environ. Poll., v.108, p. 129-139, 2000.
12. PHYTOPET Database. Disponível em < [www.phytopet.usask.ca](http://www.phytopet.usask.ca) > Acesso em Junho de 2008.
13. SHARIFI, M., SADEGHI, Y., AKBARPOUR, M. Germination and growth of six plant species on contaminated soil with spent oil. J.Environ. Sci. Tech., v.4 (4), p. 463-470, 2007.
14. SMITH, B.; STACHOWISK, M.; VOLKENBURGH, E. Cellular processes limiting leaf growth in plants under hypoxic root stress. J. Exptl. Bot., v.40, p. 89-94, 1989.
15. STEGMANN, R.; BRUNNER, G.; CALMANO, W.; MATZ, W. Treatment of contaminated soil: fundamentals, analysis, applications. Springer, Berlin Heidelberg New York, 2001.
16. TAVARES, S.R.L.; MAHLER, C.F; BARBOSA, M.C. Uso de leguminosas arbóreas de rápido crescimento para fitorremediação de hidrocarbonetos de petróleo. In: XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Recife, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p. 4-4, 2005.
17. USEPA - UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (Guía del Ciudadano: Medidas Fitocorrectivas. Office of Solid Waste and Emergency Response. United States Environmental Protection Agency. Washingtons D.C. 1996.
18. XU, J.G.; JONNISON, R.L. Root growth, microbial activity and phosphatase activity in oil-contaminated, remediated and uncontaminated soils planted to barley and field pea. Plant Soil, v. 173, p. 3-1, 1995.