

AValiação DA TOXICIDADE DO LODO GERADO EM REATOR BIOLÓGICO, DURANTE O TRATAMENTO DA ÁGUA DE PRODUÇÃO, NO TERMINAL MARÍTIMO – ALMIRANTE BARROSO, MUNICÍPIO DE SÃO SEBASTIÃO – SP.

Ricardo Consiglierio Guerra¹ (UNESP/Rio Claro), Dejanira de Franceschi de Angelis² (UNESP/Rio Claro)

¹Av. 24A nº1515 Cep 13506-900 Depto de Bioqímica e Microbiologia, reguerra@yahoo.com.br

²Av. 24A nº1515 Cep 13506-900 Depto de Bioqímica e Microbiologia, dangelis@rc.unesp.br

A atividade de prospecção do petróleo tem como característica a extração de uma parcela de água misturada ao óleo. Esta água deve ser eliminada antes do processamento do petróleo pelas refinarias, assim, dando origem a um resíduo conhecido como Água de Produção. Os sistemas projetados para o tratamento deste resíduo empregam diferentes métodos, visando atingir maior eficiência na separação dos contaminantes da água. Entretanto, os processos de tratamento geram subprodutos que necessitam de posterior manuseio ou descarte. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a toxicidade do produto de solubilização do lodo gerado em reator biológico, proveniente da estação piloto de tratamento de efluentes do Terminal Marítimo Almirante Barroso. Foram testadas as espécies: *Barbarea verna* Mill., *Brassica. Oleracea* L., *Cucumis. Sativus* L. e *Eruca. Sativa* Mill., quanto à porcentagem de germinação, velocidade média de germinação e inibição ao crescimento da raiz e hipocótilo. Os resultados indicam maior sensibilidade da germinação de *B. verna* ao extrato solubilizado, as demais espécies apresentaram concentração crítica para a germinação entorno de 25% do extrato solubilizado. A inibição ao crescimento da raiz e hipocótilo indica maior resistência das espécies *E. sativa* e *B. oleracea*, com CI_{50} para a raiz de 23,61% e 16,64% respectivamente e, para o hipocótilo, CI_{50} entorno de 18% para as duas espécies.

água de produção, toxicidade, lodo biológico

1. INTRODUÇÃO

As atividades envolvidas na cadeia produtiva do petróleo desde sua extração, armazenamento, transporte e processamento para a produção de derivados, são responsáveis pela geração de diferentes tipos de resíduos. Estes são originários das impurezas presentes na composição natural do óleo ou provenientes de seu processamento (Rebhun e Galil, 1994). Entre os resíduos gerados destaca-se, particularmente pelo volume envolvido, a Água de Produção. Esta pode ser definida como um efluente originado pelo processo de separação da água contida no petróleo, independente de sua origem (Holdway, 2002; Hayes e Arthur, 2004).

A maior parte das reservas brasileiras de petróleo encontra-se na Bacia de Campos, na margem continental dos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. A localização dos reservatórios em grandes profundidades (lâmina d'água além dos 2.000 metros), contribui com o volume de água extraída junto ao petróleo, devido à elevada pressão e percolação da água do mar através do meio sedimentar (Cassella, 2005).

O Terminal Marítimo de São Sebastião (TEBAR) é responsável pelo escoamento de grande parte da produção nacional de petróleo para as refinarias localizadas no Estado de São Paulo. O óleo cru recebido pelo terminal é armazenado em tanques onde ocorre a separação óleo/água. A geração mensal de Água de Produção no terminal é entorno de 15.000 m³.

Os sistemas para o tratamento deste efluente são projetados com a combinação de diferentes metodologias de tratamento, visando atingir maior eficiência na separação dos contaminantes da água. Entretanto, todos os processos com potencial aplicação no tratamento da Água de Produção geram subprodutos que necessitam de posterior processamento e descarte, de acordo com critérios de proteção ambiental e saúde pública.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito tóxico da disposição do lodo gerado pela etapa de tratamento biológico da Água de Produção, proveniente de uma Estação Piloto de Tratamento de Efluentes (ETE piloto) instalada no TEBAR. A produção de lodo é estimada entorno de 120Kg/h, retirado dos reatores com 4% de sólidos e, após processo de secagem, espera-se obter teor de sólidos em torno de 80%.

Os ensaios de toxicidade foram realizados a partir da solubilização do lodo desidratado. O efeito de concentrações crescentes do extrato de solubilização do lodo, sobre a germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de *Barbarea verna* Mill. (Agrião do seco), *Brassica oleracea* L. (Couve manteiga), *Cucumis sativus* L. (Pepino caipira) e *Eruca sativa* Mill. (Rúcula), foi avaliado como parte dos estudos sobre a disposição final deste resíduo e são apresentados neste trabalho.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A composição e concentração dos sais dissolvidos na Água de Produção variam entre os campos de petróleo. Os sais mais comumente encontrados são nesta ordem: de sódio, magnésio e cálcio, principalmente sob a forma de cloretos e, em menor intensidade, como sulfatos (Oliveira, 2000).

A solubilização dos sais resulta na presença de ânions e cátions, entre os cátions monovalentes são encontrados sódio e potássio, entre os multivalentes: ferro, cálcio e magnésio. Os principais ânions incluem cloreto, sulfato, carbonato e bicarbonato. Espécies inorgânicas solúveis também estão presentes, incluindo silicato (H_4SiO_2) e borato (H_3BO_3) (Hayes e Arthur, 2004).

Além dos compostos lixiviados das rochas reservatório, naturalmente presentes nas águas produzidas, uma grande variedade de produtos químicos é adicionada durante o processamento do petróleo. Os produtos químicos são, geralmente, chamados de aditivos e são empregados para resolver ou prevenir problemas operacionais, como: inibidores de incrustação, inibidores de corrosão, biocidas, desemulsificantes, aditivos para o tratamento da água (coagulantes), inibidores de deposição de parafinas/asfaltenos e anti-espumantes (Burns *et al.* 1999). A toxicidade aguda destes compostos químicos contribui para a toxicidade geral da Água de Produção (Holdway, 2002).

O impacto ambiental provocado pelo descarte da água produzida, geralmente, é avaliado pela toxicidade dos constituintes e pela quantidade de compostos orgânicos e inorgânicos presentes. Estes contaminantes podem causar diferentes efeitos sobre o ambiente. Acredita-se que os efeitos mais nocivos são aqueles relacionados aos compostos que permanecem em solução após o descarte da água produzida (Oliveira e Oliveira, 2000).

A adoção de estudos ecotoxicológicos constitui-se em ferramenta para compreensão da extensão dos impactos ao ambiente. Os organismos vivos utilizados nos testes de toxicidade funcionam como verdadeiros “biosensores” que respondem à presença de contaminantes (Espindola *et al.*, 2003). Em virtude de responderem aos componentes biologicamente ativos contidos em resíduos complexos, os bioensaios fornecem uma medida mais direta da toxicidade do que análises químicas isoladas (Keddy *et al.*, 1995).

Os organismos vivos incorporam tanto os efeitos positivos quanto negativos dos impactos químicos e condições ambientais que ocorreram durante seu desenvolvimento (Keddy *et al.*, 1995). Desta forma, testes de toxicidade representam uma ferramenta para o estudo dos efeitos de agentes tóxicos sobre organismos vivos, fundamentando-se no princípio da resposta dos organismos ser proporcional a dose do tóxico a que foram submetidos (Jardim, 2004).

Durante o período de embebição, as sementes são sensíveis ao estresse ambiental, o qual pode influenciar os estágios iniciais do desenvolvimento. Assim, os testes de toxicidade medem os efeitos dos agentes tóxicos sobre as espécies em uma série de concentrações de uma solução, sendo as respostas dos organismos observadas. Desta forma, *endpoints* como sobrevivência, germinação e estágios iniciais de desenvolvimento podem ser facilmente monitorados (Barbero *et al.*, 2001).

O metabolismo, transporte de nutrientes e divisão celular das sementes durante os estágios iniciais do desenvolvimento são grandemente influenciados pelas condições do meio. Os testes de fitotoxicidade baseados na germinação de sementes e crescimento radicular têm sido propostos por diversas agências governamentais, como parte da avaliação do potencial de contaminação de resíduos e efluentes dispostos no ambiente (OECD, 1984; USEPA, 1996).

3. METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Toxicidade de Águas da Universidade Estadual Paulista – Unesp, Campus de Rio Claro, SP. As sementes utilizadas na execução dos testes de germinação e de inibição do crescimento da raiz e hipocótilo foram adquiridas de um mesmo fornecedor (TopSeed®). Nos casos onde mais de um lote de sementes foi necessário para a realização do teste, procedeu-se a homogeneização das sementes, com o objetivo de uniformizar a amostra.

3.1 Desidratação do Lodo

A concentração e secagem do Lodo foram realizadas a partir do material coletado no ponto de descarga de lodo do reator biológico instalado no TEBAR. Para a concentração inicial do material, o lodo foi filtrado à vácuo, em seguida, a torta de lodo resultante foi desidratada em estufa a 45 °C por um período de 48 horas. Mediante este procedimento uma concentração de sólidos compatível com a existente no projeto da ETE piloto foi obtida.

3.2 Solubilização do Lodo

A obtenção do extrato solubilizado do lodo foi realizada segundo o método descrito pela Norma Técnica NBR 10.006 “Solubilização de resíduos – Procedimento” (ABNT, 2004a), como parte dos ensaios necessários à caracterização de resíduos sólidos.

Para a realização dos testes de germinação e inibição ao crescimento da raiz e hipocótilo, foram empregadas diluições do extrato solubilizado. Este material representa a fração do lodo desidratado sujeita à dissolução em água, desta forma, mais biodisponível. As soluções testadas variaram de 5 a 25% de concentração do extrato solubilizado, diluído em água desionizada. O tratamento controle era composto exclusivamente por água desionizada.

A condutividade elétrica das diluições foi aferida em condutivímetro e, a partir dos valores obtidos calculou-se a pressão osmótica (TABELA 1) conforme Forsythe (1966), citado por Santana (2003):

$$PO = 0,0365 * CE$$

Onde:

PO = pressão osmótica (MPa);

CE = condutividade elétrica da diluição do extrato solubilizado ($dS\ m^{-1}$).

Tabela 1. Valores de condutividade elétrica e potencial osmótico das diluições do extrato solubilizado, empregadas nos testes de germinação e inibição ao crescimento da raiz e hipocótilo.

Concentração Extrato Solubilizado (v/v)	Condutividade Elétrica ($dS\ m^{-1}$) a 25°C	Potencial Osmótico (MPa)
5%	5,17	-0,19
10%	9,65	-0,35
15%	13,57	-0,50
20%	17,49	-0,64
25%	21,32	-0,78

3.3 Teste de Germinação

Para cada espécie vegetal foram testadas no mínimo cinco diluições do extrato solubilizado, em três repetições contendo 50 sementes. As sementes foram acondicionadas em placa de petri, sobre papel de filtro previamente esterilizado. A cada placa foi adicionado 4mL da respectiva diluição testada e em seguida incubada em câmara climática (Estufa BOD) a $22 \pm 1^\circ C$.

A contagem de sementes germinadas foi realizada em intervalos de 24 horas, considerando-se germinadas as sementes que apresentassem 2mm de protrusão da radícula. Foi calculada a porcentagem total de sementes germinadas por tratamento, assim como, a velocidade média de germinação, obtida por meio do inverso do tempo médio de germinação (Labouriau, 1983), de acordo com a fórmula:

$$t = \frac{\sum ni \times ti}{\sum ni}$$

Onde:

t – tempo médio de germinação;

ni – número de sementes germinadas no tempo ti.

Os dados percentuais de germinação foram transformados para arco seno ($\%G = \sqrt{x/100}$), a comparação entre as médias foi realizada pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

3.4 Teste de Inibição da Raiz e Hipocótilo

A realização dos testes de inibição da raiz e do hipocótilo seguiu os procedimentos descritos por Morales (2004). Para cada espécie testada 20 sementes foram adicionadas em placas de petri, contendo discos de papel de filtro estéril. Os tratamentos contavam com três repetições por diluição do extrato solubilizado. As placas receberam 3,5mL das diluições, em seguida foram envolvidas em sacos plásticos, a fim de evitar que a dessecação interferisse nas concentrações avaliadas.

Os testes foram mantidos em câmara climática (Estufa BOD) a $22 \pm 1^\circ C$ por 120 horas, em ausência de luz. Após este período as plântulas foram medidas com auxílio de régua milimetrada. Os resultados obtidos permitiram o cálculo da Concentração de Inibição de 50% (CI_{50}) do conjunto de medidas da raiz e hipocótilo, em relação ao tratamento controle, para cada espécie vegetal testada.

4. RESULTADOS

4.1 Solubilização do Lodo

A análise química do extrato solubilizado, do lodo gerado pelo tratamento biológico da Água de Produção, demonstra que na composição deste resíduo a concentração dos elementos: sódio, chumbo, manganês e alumínio, encontram-se acima dos limites máximos estabelecidos para o ensaio de solubilização (Tabela 2). Assim, de acordo com a Norma Técnica NBR 10.004 “Resíduos Sólidos – Classificação” (ABNT, 2004b), este resíduo é classificado como: **Classe II A, Não Perigoso – Não Inerte**.

Tabela 2. Resultados das análises químicas do ensaio de Solubilização, realizado com o lodo biológico da ETEpiloto/TEBAR.

Parâmetros	Solubilizado	L.M.	Unidade
Sódio (Na)	7.260	200	mg/L
Potássio (K)	369	*	mg/L
Silício (Si)	4,4	*	mg/L
Cálcio (Ca)	1.583	*	mg/L
Estrôncio (Sr)	112	*	mg/L
Magnésio (Mg)	478	*	mg/L
Chumbo (Pb)	0,011	0,01	mg/L
Ferro (Fe)	0,28	0,3	mg/L
Manganês (Mn)	0,37	0,1	mg/L
Cromo (Cr)	< 0,005	0,05	mg/L
Fósforo (P)	4,6	*	mg/L
Alumínio (Al)	2,6	0,2	mg/L
Zinco (Zn)	0,023	5,0	mg/L
Bário (Ba)	0,36	0,7	mg/L
Níquel (Ni)	0,021	*	mg/L
Cádmio (Cd)	< 0,005	0,005	mg/L

L.M. - Limite Máximo Permissível para o Ensaio de Solubilização;

* parâmetro não considerado pela NBR 10.004 (Anexo G).

4.2 Teste de Germinação

Os resultados dos testes de germinação são apresentados na Tabela 3. De maneira geral observa-se que, entre o potencial osmótico de -0,5 e -0,64MPa, os efeitos deletérios do excesso de salinidade começam a causar diminuição significativa no percentual de germinação.

Tabela 3. Porcentagem média de germinação para as espécies testadas, submetidas à concentrações crescentes do extrato solubilizado do lodo biológico, produzido pelo tratamento da água de produção pela ETEpiloto/TEBAR.

Espécie	Potencial Osmótico					
	Controle	- 0,19MPa	- 0,35MPa	- 0,50MPa	- 0,64MPa	- 0,78MPa
	Germinação (%)					
<i>B. verna</i>	96,6 aA	92,2 aA	53,3 bA	17,8 cA	4,4 dA	0,0 eA
<i>B. oleracea</i>	97,8 aA	95,4 aA	92,2 aB	77,8 aB	80,0 aB	46,7 bB
<i>C. sativus</i>	100 aA	100 aA	100 aB	98,3 aB	63,3 bB	25,0 cC
<i>E. sativa</i>	98,9 aA	96,7 aA	86,7 abB	78,3 bB	73,3 bB	33,3 cBC

Médias seguidas das mesmas letras, maiúscula para coluna e minúscula para linha, não diferem pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Entre as espécies testadas, *B. verna* demonstrou maior sensibilidade do processo de germinação em relação ao aumento da concentração do extrato solubilizado. A partir do potencial osmótico de -0,35MPa já é possível observar diferença significativa em relação ao tratamento controle, sendo o potencial de -0,78MPa responsável pela inibição total da germinação.

Com exceção de *B. verna*, as outras espécies testadas apresentaram taxa de inibição da germinação acima de 50%, apenas quando submetidas a 25% de concentração do extrato solubilizado.

A germinação de *B. oleracea* foi pouco afetada pelos potenciais osmóticos testados, sendo possível observar diferença significativa entre as diluições do extrato solubilizado, somente sob potencial osmótico de -0,78MPa. No intervalo entre 20 e 25% de concentração observa-se uma diminuição de 33% na taxa de germinação de *B. oleracea*, indicando uma curta faixa de pressão osmótica onde um ponto crítico em relação à capacidade de germinação é atingido.

A espécie *C. sativus* apresentou diminuição significativa em sua taxa de germinação sob potencial osmótico de -0,64MPa, atingindo 75% de diminuição da taxa de germinação, em relação ao controle, quando submetida ao potencial osmótico de -0,78MPa. Torres *et al.* (2000) ao estudarem o efeito de diferentes concentrações salinas na germinação de *C. sativus*, encontraram diminuição da ordem de 36% sob potencial osmótico de -0,8MPa.

As sementes de *E. sativa* foram inibidas significativamente a partir do potencial osmótico de -0,5MPa. Sob potencial osmótico de -0,78MPa *E. sativa* apresentou porcentagem de germinação semelhante ao das espécies *B. oleracea* e *C. sativus*.

A Figura 1 apresenta os resultados obtidos para o cálculo da velocidade média de germinação das espécies testadas. Assim como os resultados obtidos para a porcentagem de germinação, o aumento da concentração do extrato solubilizado resultou em gradual diminuição da velocidade média de germinação. Desta forma, observa-se que o aumento do potencial osmótico das diluições testadas, aumentou o intervalo de tempo entre a primeira e última observação de germinação, resultando em um retardamento deste processo.

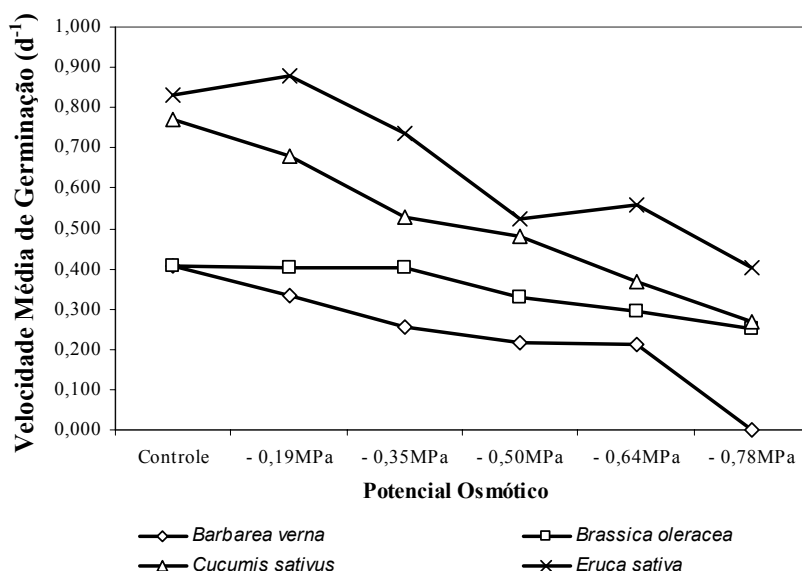


Figura 1 Velocidade média de germinação para as espécies testadas, submetidas à concentrações crescentes do extrato solubilizado do lodo biológico, produzido pelo tratamento da água de produção pela ETEpiloto/TEBAR.

De maneira geral, à medida que aumentam as concentrações de sais no meio, observa-se a necessidade de mais tempo para a semente intumescer e germinar, logo, há uma menor velocidade de germinação (Nóbrega *et al.*, 1999; Rosa *et al.*, 2005).

A comparação entre os resultados de porcentagem e velocidade média de germinação, demonstra a importância deste último parâmetro para a obtenção de uma melhor avaliação do comportamento das espécies durante o processo de germinação. Observa-se para a espécie *C. sativus* que, mesmo em concentrações onde a taxa de germinação não diferiu do controle, permanecendo entorno de 100%, uma diminuição da velocidade média de germinação foi evidente. Comportamento semelhante pôde ser observado para a germinação de *B. oleracea*, entretanto com diminuição da velocidade média de germinação menos pronunciada.

4.3 Teste de Inibição da Radícula e Hipocótilo

As Figuras 2 e 3 apresentam a regressão linear resultante do teste de inibição ao crescimento da raiz e hipocótilo. O conjunto de dados, para as quatro espécies testadas, apresentou um coeficiente de determinação (R^2) entre 93 e 99 %, indicando um alto grau de correlação entre os dados obtidos experimentalmente e os valores de inibição calculados para a determinação da CI_{50} .

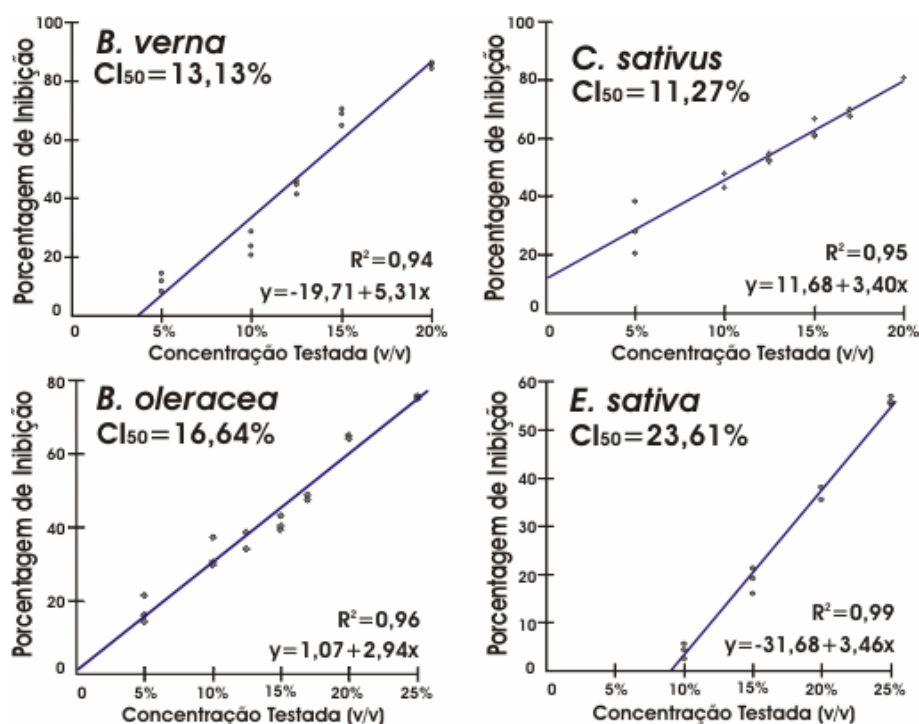


Figura 2. Regressão linear da porcentagem média de inibição do crescimento da raiz, em relação ao tratamento controle, das espécies testadas sob concentrações crescentes do extrato solubilizado do lodo biológico, produzido pelo tratamento da água de produção pela ETEpiloto/TEBAR.

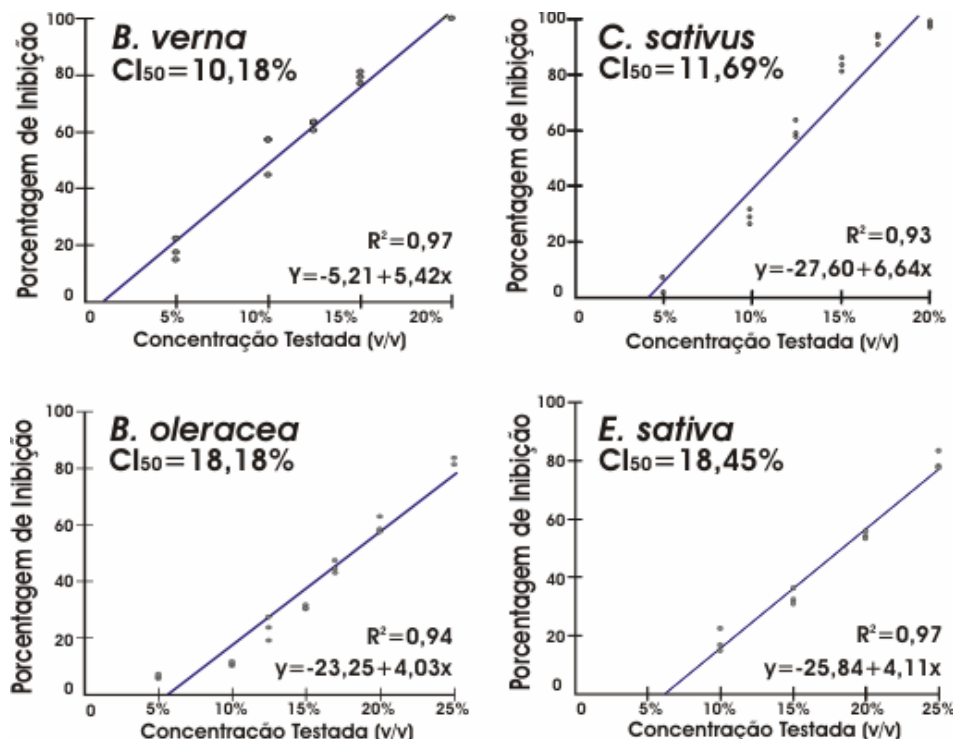


Figura 3. Regressão linear da porcentagem média de inibição do crescimento do hipocótilo, em relação ao tratamento controle, das espécies testadas sob concentrações crescentes do extrato solubilizado do lodo biológico produzido no tratamento da água de produção nela

Os valores obtidos no tratamento controle para o comprimento da raiz de *B. verna*, apresentaram média de 18,30mm (IC95%=16,45 a 19,85mm) e, para o comprimento do hipocótilo, apresentaram média de 22,93mm (IC95%=21,55 a 24,32mm). Os valores calculados de CI_{50} para a raiz e hipocótilo de *B. verna* apresentaram variação entre 13,13 e 10,18% de concentração do extrato solubilizado.

O tratamento controle de *B. oleracea*, para o comprimento da raiz, apresentou média de 42,38mm (IC95%=40,27 a 44,22mm), o comprimento do hipocótilo foi em média 24,09mm (IC95%=22,70 a 25,26mm), os valores de CI_{50} calculados para a inibição da raiz e hipocótilo de *B. oleracea* apresentaram variação entre 16,64 e 18,18% de concentração do extrato solubilizado.

A média encontrada para o comprimento das raízes de *C. sativus*, no tratamento controle, foi de 70,36mm (IC95%=67,57 a 72,68mm), o comprimento médio do hipocótilo foi de 28,62mm (IC95%=27,60 a 29,50mm), os valores de IC_{50} calculados para a inibição da raiz e hipocótilo de *C. sativus* variaram entre 11,27 e 11,69% de concentração do extrato solubilizado.

Os valores obtidos no tratamento controle para o comprimento da raiz de *E. sativa*, apresentaram média de 37,25mm (IC95%=34,50 a 40,06mm), o comprimento do hipocótilo foi em média 30,98mm (IC95%=29,52 a 32,31mm). *E. sativa* diferiu do padrão encontrado para as outras espécies testadas, apresentando maior variação entre o valor calculado da CI_{50} para a raiz e hipocótilo, 23,61% e 18,45% respectivamente.

Os testes de germinação e inibição ao crescimento para a espécie *B. verna*, apresentaram resultados com comportamento semelhante. Frente ao aumento da concentração do extrato solubilizado, os dois testes indicaram inibição de 50% da amostra entorno de 10% de concentração.

As espécies *B. oleracea* e *E. sativa* não sofreram efeitos pronunciados sobre a porcentagem de germinação até a faixa de concentração compreendida entre 20 e 25% de concentração do extrato solubilizado (-0,64 e -0,78 MPa respectivamente). As duas espécies também demonstraram maior resistência à inibição do crescimento pelo extrato solubilizado.

A diminuição da porcentagem de germinação de sementes submetidas ao estresse hídrico pode ser atribuída à redução das atividades enzimáticas (Labouriau, 1983). Segundo Machado *et al.* (2006) o potencial osmótico de soluções salinas pode apresentar valores inferiores aos apresentados pelas células do embrião, dessa maneira, dificultando a absorção da água necessária para que a germinação seja possível. Santos (1992) sugere que os efeitos tóxicos da salinidade sobre a germinação, ocorram não somente por dificultar a cinética da absorção de água, mas também por facilitar a entrada de íons em quantidades tóxicas nas sementes durante a embebição, sendo constatado que os efeitos provocados pelos sais são mais nocivos à germinação do que apenas o efeito osmótico.

Segundo Harris (1915) citado por Campos e Assunção (1990), o grau de toxicidade de sais solúveis para a germinação de trigo, milho, beterraba, alfafa, aveia e cevada apresentou a seguinte ordem: cloreto de sódio, cloreto de cálcio, cloreto de potássio, nitrato de sódio, cloreto de magnésio, nitrato de potássio, nitrato de magnésio, carbonato de sódio, carbonato de potássio, sulfato de sódio, sulfato de potássio e sulfato de magnésio.

O efeito tóxico observado nos testes realizados pode não estar exclusivamente relacionado ao potencial osmótico a que as sementes foram expostas. A condutividade elétrica das soluções testadas (Tabela 1) era devida aos sais presentes na água do mar, concentrados pela desidratação térmica do lodo. Entretanto, outros contaminantes provenientes do contato da água com as frações mais solúveis do petróleo foram encontrados pela análise química do extrato solubilizado, indicando que estes elementos podem ter contribuído para um maior efeito tóxico sobre as espécies vegetais testadas.

5. CONCLUSÃO

O lodo produzido pelo reator da ETEpiloto do TEBAR é classificado como um resíduo não perigoso, porém não inerte, devido a solubilização de alta concentração de sais no material e, alguns metais como chumbo, alumínio e manganês, desta forma, sua disposição final deve empregar algumas medidas especiais para a proteção do ambiente

No teste de germinação, com exceção da espécie *Barbarea verna* Mill., o efeito letal foi mais evidente somente sob a concentração de 25%. A velocidade média de germinação, para todas as espécies, apresentou diminuição em resposta ao aumento das concentrações testadas.

O teste de crescimento apresentou o efeito inibitório de forma mais gradual, para níveis sub-letais de concentração do extrato solubilizado.

A associação de testes quantitativos (% de germinação) e qualitativos (crescimento) ofereceu o melhor conjunto de informações, ampliando as possibilidades de interpretação dos resultados.

6. AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Recursos Humanos ANP/FINEP/MCT – CTPETRO, PRH-05, Unesp/Rio Claro pelo suporte financeiro; Ao Depto de Bioquímica e Microbiologia da Unesp/Rio Claro; À Divisão de Biotecnologia e Tratamento Ambientais (BTA) do CEMPES; Ao pessoal de SMS e Tratamento de Resíduos do TEBAR.

7. REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR - 10.006 Solubilização de Resíduos**, 2p. 2004(a).
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR - 10.004 Resíduos Sólidos - Classificação**, 33p. 2004(b).
- BARBERO, P.; BELTRAMI, M.; BAUDO, R.; ROSSI, D. Assessment of Lake Orta sediments phytotoxicity after the liming treatment. **J. Limnol.** v.60, n.2, p269-276, 2001.
- BURNS, K. A.; CODI, S.; FURNAS, M.; HEGGIE, D.; HOLDWAY, D.; KING, B.; MCALLISTER, F. Dispersion and Fate of Produced Formation Water Constituents in an Australian Northwest Shelf Shallow Water Ecosystem. **Marine Pollution Bulletin.** v.38, n.7, p593-603, 1999.
- CAMPOS, I. S.; ASSUNÇÃO, M. V. Efeitos do cloreto de sódio na germinação e vigor de plântulas de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.6, p837-843, 1990.
- CASSELLA, R. J.; OLIVEIRA, E. P.; MAGALHÃES O. I. B.. Direct determination of vanadium in high saline produced waters from offshore petroleum exploration by electrothermal atomic absorption spectrometry. **Talanta**. 2005. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/talanta>>. Acesso em fev. 2006.
- ESPINOLA, E. L. G.; BRIGANTE, J.; DORNFELD, C. B. Estudos ecotoxicológicos no rio Mogi-Guaçu. ESPINOLA, E. L. G.; BRIGANTE, J. (Org.) **Limnologia fluvial**. São Carlos: Rima, p129-148, 2003.
- HAYES, T.; ARTHUR, D. Overview of emerging produced water treatment technologies. In: **ANNUAL INTERNATIONAL PETROLEUM ENVIRONMENTAL CONFERENCE**, 11, Albuquerque, 2004.
- HOLDWAY, D. A. The acute and chronic effects of wastes associated with offshore oil and gas production on temperate and tropical marine ecological processes. **Marine Pollution Bulletin.** v.44, p185-203, 2002.
- JARDIM, G. M. **Estudos Ecotóxicológicos da Água e do Sedimento do Rio Corumbataí**, SP. Dissertação. (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas). Universidade de São Paulo – ESALQ. Piracicaba, 138p, 2004.
- KEDDY, C. J.; GREENE, J. C.; BONNELL, M. A. Review of Whole-Organism Bioassays: Soil, Freshwater Sediment, and Freshwater Assessment in Canada. **Ecotoxicology and Environmental Safety.** v.30, p221-251, 1995.
- LABOURIAU, L. G. **A Germinação das Sementes**. OEA: Washington, 174p, 1983.
- MACHADO, N. B. N.; CUSTÓDIO, C. C.; COSTA, P. R.; DONA, F. L. Deficiência hídrica induzida por diferentes agentes osmóticos na germinação e vigor de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 28, n.1, p142-148, 2006.

- MORALES, C. G. **Ensayos Toxicológicos y Métodos de Evaluación de Calidad de Agua: estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones**. IMTA: México, 142p, 2004.
- NOBREGA, G. M. N.; QUEIROZ, J. E.; SILVA, L. M. M.; SANTOS, R. V. Efeito da salinidade na germinação e desenvolvimento inicial da Leucena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande: DEAg/UFPB, v.3, n.2, p257-260, 1999.
- OECD. Terrestrial plants: Growth test. **OECD Guidelines for testing of chemicals**, Paris: No. 208, 1984.
- OLIVEIRA, R. C. G. Novo conceito de dessalgação de petróleo para centrais de tratamento. **Bol. Tec. Petrobras**. v.43, n.2, p111-119, 2000.
- OLIVEIRA, R. C. G.; OLIVEIRA, M. C. K. Remoção de contaminantes tóxicos dos efluentes líquidos oriundos da atividade de produção de petróleo no mar. **Bol. Tec. Petrobras**. v.43, n.2, p129-136, 2000.
- REBHUN, M.; GALIL, N. Technological Strategies For Protecting And Improving The Biological Treatment Of Wastewater From A Petrochemical Complex. **Water Science and Technology**. v.29, n.9, p133-141, 1994.
- ROSA, L. S.; FELIPPI, M.; NOGUEIRA, A. C.; GROSSI, F. Avaliação da germinação sob diferentes potenciais osmóticos e caracterização morfológica da semente e plântula de *Atelesia glazioviana* Baill (Timbó). **Cerne**, Lavras, v.11, n.3, p306-314, 2005.
- SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; SILVA, E. L.; MIGUEL, D. S. Efeito da irrigação com água salina em um solo cultivado com o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciênc. agrotec**. Lavras. v.27, n.2, p443-450, 2003.
- SANTOS, V. L. M.; CALIL, A. C.; RUIZ, H. A.; ALVARENGA, E. M.; SANTOS, C. M. Efeito do estresse salino e hídrico na germinação e vigor de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.14, n.2, p189-194, 1992.
- TORRES, S. B.; VIEIRA, E. L.; FILHO, J. M. Efeitos da salinidade na germinação e no desenvolvimento de plântulas de pepino. **Revista Brasileira de Sementes**, v.22, n.2, p39-44, 2000.
- U.S. EPA. Ecological Effects Test Guidelines. OPPTS 850.4200. **Seed Germination/Root Elongation Toxicity Test**. EPA 712-C-96-154. abril 1996.

BIOLOGICAL REACTOR SLUDGE TOXICITY, FROM PRODUCED WATER TREATMENT AT TERMINAL MARÍTIMO – ALMIRANTE BARROSO, MUNICIPALITY OF SÃO SEBASTIÃO – SÃO PAULO STATE, BRASIL.

One of oil production characteristics is the mixed water volume co-produced. This water contain must be eliminated before refinery processing, originating a wastewater known as Produced Water. These waste treatment systems are designed by a combination of different methodologies, looking for greater treatment efficiency. In the mean time, treatment processes generate byproducts that need an ultimate disposal. This paper objective is to evaluate the solubilization product toxicity, from a biological sludge, produced at a Pilot Produced Water Treatment Facility, located on Terminal Marítimo Almirante Barroso. The species: *Barabarea verna* Mill., *Brassica. Oleracea* L., *Cucumis. Sativus* L. and *Eruca. Sativa* Mill., were used for bioassays tests based on germination percentage, germination velocity and root/hypocotyls elongation. Results indicate *B. verna* greater solubilization product germination sensibility, the remaining species showed a critical concentration of solubilization product about 25%. The root/hypocotyls elongation tests indicate *E. sativa* and *B. oleracea* greater resistance, with root IC₅₀ of 23.61% and 16.64% respectively and, IC₅₀ for hypocotyls about 18% for both species.

produced water, toxicity, biological sludge.

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.