



## Predição de um Modelo de Percolação de Óleo Diesel em Areias da Praia do Porto de Suape – PE, Brasil

Gabriel Olivo LOCATELLI<sup>1</sup>; Lidiane Silva do Espírito Santo NUNES<sup>2</sup>; Maria de Fátima Vieira de Queiroz SOUSA<sup>3</sup>; Carlos Edison LOPES<sup>4</sup>; Christine Lamenha Luna INKLER<sup>5</sup>

**Resumo:** O petróleo, atualmente a principal fonte energética da humanidade, já foi precursor de grandes desastres ambientais. Hoje, apesar das técnicas de segurança e medidas de prevenção empregadas na sua exploração e transporte, ainda ocorrem danos decorrentes de acidentes com petróleo e seus derivados. O novo terminal portuário de Suape, em Pernambuco, tornou-se um dos mais importantes do continente sul-americano, movimentando vários petroderivados, dentre eles, o óleo diesel, o qual representará grande volume de transporte na refinaria Abreu e Lima, em Suape – PE. O conhecimento do comportamento desses produtos quando acidentalmente espalhados no ambiente é de fundamental importância para se tomar as devidas medidas de contenção, remoção, limpeza e degradação no ambiente. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento do espalhamento do óleo diesel em areias da praia de Suape – PE e propor um modelo que prediga o deslocamento do óleo diesel em solo arenoso. Os resultados dos ensaios de percolação do óleo diesel em areia *in natura* mostraram que a profundidade máxima atingida foi de 18,8 cm, resultado interessante do ponto de vista da biorremediação, cuja ocorrência é favorecida nas camadas mais superficiais do solo. Os ensaios de percolação do óleo diesel em areias de diferentes granulacões sugerem um modelo matemático cujo comportamento é semelhante à equação de Langmuir.

**Palavras-chave:** Biorremediação. Equação de Langmuir. Modelo de percolação. Óleo diesel.

**Abstract:** *Petroleum, at present the main energy source of the society, already was responsible for great environmental disasters. Today, despite the technical safety and prevention used in their exploration and transportation, accidents still occur with crude oil and derivatives. The Suape port, Pernambuco, became the most important of the South American, where moving several petroleum derivatives such as diesel oil, which*

1 Doutorando em Biotecnologia – RENORBIO, UFRPE. UFPE /CAV

2 Universidade Federal de Pernambuco - CTG, Programa de Pós-graduação em Eng. Química.

3 Universidade Federal de Pernambuco – CCB, Programa de Pós-graduação em Biotecnologia Industrial

4 Universidade Federal de Pernambuco – CCB, Programa de Pós-graduação em Biotecnologia Industrial

5 Universidade Federal de Pernambuco - CAV, Programa de Pós-graduação em Biotecnologia Industrial

Autor para correspondência: Gabriel Olivo Locatelli

Doutorando em Biotecnologia – RENORBIO, UFRPE. UFPE /CAV - Centro Acadêmico de Vitória. Rua Alto do Reservatório, S/N – Bela Vista. CEP: 55608-680. Vitória de Santo Antão – PE. Telefone (81) 3526-3949. Celular (81) 9794-1434. Email: gabriel\_locatelli@hotmail.com

Recebido em 17 de Dezembro de 2014 / Aceito em 25 de Maio de 2015

represents the large amount of transport in the Abreu e Lima refinery, in Suape – PE. The knowledge of the behavior of these products when accidentally overturned in the environment is very important to take appropriate measures for containment, removal, cleaning and environmental degradation are applied. Therefore, aim of this study was to evaluate the scattering behavior of diesel oil in sands of Suape port – PE and propose a model that predicts the displacement of diesel oil in this soil. The results of the diesel oil percolation in sand in natura showed that maximum penetration attained was 18.8cm, the results showed interesting in terms of bioremediation, because the occurrence the degradation is favored in the superficial layers of the soil. Percolation tests diesel oil in different grain sizes of the sands, suggest a mathematical model whose behavior is similar to the Langmuir equation.

**Keywords:** Bioremediation. Langmuir equation. Percolation model. Diesel oil.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o investimento nos setores produtivos constitui-se como a principal estratégia, entre as alternativas para superar as crises internacionais, o que demanda aumento no consumo de energia. Mesmo com as preocupações ambientais crescentes que impulsionam maior demanda por energias renováveis, no cenário atual os combustíveis fósseis representam mais de 80% de toda a energia primária produzida no mundo, indicando que as próximas décadas ainda serão fortemente marcadas pela dependência energética desses produtos (LOPES *et al.*, 2007; LUCON & GOLDEMBERG, 2009).

O petróleo movimenta trilhões de dólares, responsável pela geração de 36,8% de toda energia mundial (LIMA, 2009). O óleo diesel é o petroderivado mais consumido no mercado brasileiro, utilizado no transporte de cargas e de passageiros, em embarcações, na indústria, na geração de energia, nas máquinas para a construção civil, nas máquinas agrícolas e locomotivas (CETESB, 2012). Seu abastecimento no mercado interno se dá através de treze refinarias, e para atender a essa demanda crescente está em construção a nova refinaria Abreu e Lima, na região portuária de Suape – PE, a qual terá capacidade de processar 230 mil barris

de petróleo pesado por dia e terá como principal produto o óleo diesel. O que representará um aumento de 11,5% na capacidade de refino nacional. (SUAPE, 2010; MOUTINHO, 2011).

O Brasil que vive forte expansão e crescimento econômico ligado a esse setor, desperta a preocupação da sociedade para os possíveis impactos ambientais. As operações de armazenamento e transporte são identificadas como os pontos críticos para acidentes catastróficos e fontes potenciais de poluição crônica (CAPPELLO *et al.*, 2012). Segundo a CETESB (2008), os principais poluentes ambientais no Brasil são os hidrocarbonetos, os solventes aromáticos e os combustíveis líquidos, desta forma, a indústria do petróleo é a grande geradora de poluição no ar, na água e no solo. Mesmo com grandes avanços referentes à segurança operacional dos sistemas de armazenamento e transporte de petróleo ou derivados, a frequência de acidentes ainda permanece alta, o que torna os ambientes aquáticos e terrestres vulneráveis à poluição por esses produtos (PEREIRA & FREITAS, 2012).

A necessidade de remediar áreas poluídas conduz ao desenvolvimento de novas tecnologias que visam a detoxificação de ambientes contaminados. Essas tecnologias

empregam métodos físicos, químicos e biológicos, muitas vezes de forma combinada, para acelerar a remoção e degradação desses compostos. Os sistemas biológicos apresentam-se aptos para degradar compostos recalcitrantes, como os petroderivados, uma vez que os micro-organismos têm o papel de reciclar a maioria das moléculas da biosfera, participando dos principais ciclos biogeoquímicos (GAYLARDE *et al.*, 2005). De acordo com Nikakhtari *et al.* (2010), tem-se utilizado um número cada vez maior de micro-organismos para remediar solos contaminados com petroderivados.

Muitos fatores ambientais, físicos, químicos e biológicos influenciam na capacidade de sistemas microbianos em biodegradar uma molécula. Entre os fatores físicos, tem-se a temperatura, a luminosidade e a composição da matriz onde a molécula poluente se encontra. A matriz (solo) é um sistema complexo composto por frações orgânicas e minerais com diferentes teores de areia, silte e/ou argila, com propriedades de atração de cargas e com granulação diversificada. Estes fatores afetam a capacidade de retenção de água e o transporte de massa, diminuindo a biodisponibilidade da molécula poluente (GAYLARDE *et al.*, 2005). A introdução de poluentes no solo, causa modificações nas suas características, reduzindo a quantidade de nutrientes e a capacidade de troca de cátions, tendo por consequência a redução das propriedades filtrantes, tamponantes e de depuração (MELO & AZEVEDO, 2008).

As formações topográficas, composições sedimentares e granulares influenciam na declividade e na largura das praias. No entanto, a morfodinâmica praias depende de vários fatores como, a declividade da costa, variações climáticas

e o padrão hidrodinâmico atuante, o qual pode levar a mudanças na morfologia praias que, por sua vez, podem provocar mudanças no padrão hidrodinâmico atuante, de forma que ambos evoluem conjuntamente. Em geral, praias em estado refletivo com alto gradiente topográfico apresentam-se mais estreitas e com sedimentos mais grossos, enquanto praias com estado dissipativo em regiões costeiras com menor inclinação, apresentam sedimentos finos e/ou lamacentos (HOEFEL, 1998; SUGUIO, 2003; CALLIARI *et al.*, 2003).

Esses fatores afetam a limpeza natural, o tempo de permanência e a percolação do óleo na região costeira. Praias refletivas tendem a apresentar maior taxa de percolação e rápida limpeza natural, devido ao rompimento abrupto e a reflexão das ondas. Por outro lado, praias dissipativas, como planícies de maré e faixas de mangue, apresentam baixa taxa de percolação devido à saturação do solo com água e prolongado tempo de limpeza natural, pela baixa atividade das ondas (SUGUIO, 2003).

Processos de descontaminação de solos em áreas costeiras constituem operações difíceis e de elevado custo. As características da área atingida por derramamentos, como a presença de vegetação e biomas naturais, a trafegabilidade e os fatores de permeabilidade, influenciam na aplicação das técnicas de contenção, remoção e biorremediação. A remoção de camadas superficiais de solo não é recomendada na maioria dos casos, pois causa grande impacto ambiental, com a remoção de grande diversidade de organismos que habitam os primeiros 20 cm das camadas superficiais do solo (WU *et al.*, 2011). Os procedimentos mais aplicados baseiam-se na remoção manual ou mecânica dos resíduos superficiais de óleo, e o uso de

adsorventes para maiores remoções, seguido de técnicas de biorremediação (LOPES *et al.*, 1996; PEREIRA & FREITAS, 2012).

O conhecimento da composição sedimentar, das características granulares e da percolação do óleo diesel na areia é importante para definir a estratégia no processo de remoção e tratamento das áreas atingidas. Em casos de contaminações das camadas mais profundas, a injeção de ar ou mesmo aplicação de nutrientes visam estimular o desenvolvimento da microbiota e acelerar o processo de biodegradação desses compostos recalcitrantes (BENTO *et al.*, 2005; LEMOS *et al.*, 2009).

Desta forma, o objetivo desse trabalho foi propor um modelo matemático para prever a profundidade do espalhamento do óleo diesel em areia. Os ensaios de percolação foram realizados com a areia *in natura* e com a areia em diversas granulações, estabeleceu-se o modelo cinético para a predição da profundidade que o óleo diesel pode penetrar em sedimentos de areia da praia de Suape – PE.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A areia foi coletada na praia de Suape, localizada no município de Cabo de Santo Agostinho, próximo ao Porto de Suape, em Pernambuco. O desenvolvimento experimental constou das etapas de amostragem, caracterização da areia e avaliação da percolação do óleo diesel na areia.

### 2.1. Amostragem e Caracterização da Areia

A amostragem da areia foi realizada com o auxílio de trado manual, de acordo com a técnica de Van Elsas & Smalla (1997). A coleta das amostras foi efetuada, de forma aleatória, em

20 pontos ao longo da praia e com profundidade de 50 cm. As amostras foram homogeneizadas e quarteadas para a retirada de uma amostra representativa, sendo, em seguida submetidas às análises físico-químicas no Laboratório de Análises Agrícolas – LAGRI, localizado em Recife-PE.

A distribuição granulométrica da areia, representativa da profundidade de 50 cm, consistiu na passagem pelo conjunto de peneiras nos intervalos de: 28, 35, 48, 60, 100 e 150 mesh. O pH da areia foi determinado a partir de amostras de 10 g, transferidas para frascos Erlenmeyer de 250 mL, com 25 mL de água deionizada. Procedeu-se à homogeneização em incubador rotativo a 150 rpm, por 15 minutos. Decorrido este período, deixou-se a mistura em repouso por 20 minutos, para a separação das fases. Em seguida, mediu-se o pH em potenciômetro.

### 2.2. Obtenção e Armazenamento do Óleo Diesel

O óleo diesel foi obtido do tanque nº 631303 do DTNEST/PETROBRAS. Acondicionou-se o produto em frascos âmbar de 1000 mL dotados de tampas rosqueadas, e armazenado sob refrigeração a 4° C, para minimizar as perdas por volatilização. As características físico-químicas do óleo diesel, de acordo com a Petrobras, estão apresentadas na Tabela 1.

### 2.3. Medição do Espalhamento do Óleo Diesel na Areia

As amostras de areia, após passarem pelas peneiras de diferentes aberturas, foram submetidas à secagem a 100° C. As areias, *in natura* e com diferentes granulações, foram colocadas, isoladamente, em sete tubos de vidro (altura de 0,4 m e diâmetro interno



de 0,015 m). Os tubos foram postos em vibrador por 15 minutos, para compactar a areia até a altura de 0,38 m. Considerou-se a profundidade ( $L=0$ ) e tempo ( $t=0$ ) para o caso em que o poluente não está presente no leito de areia e, em seguida, adicionou-se 2,0 mL do óleo diesel em cada tubo. A

partir do momento em que o óleo deixava a superfície, iniciava-se a medição do espalhamento do óleo por meio da leitura em papel milimetrado, em intervalos de 2 horas ao longo de 24 horas, até a estabilização do mesmo no meio poroso. Os ensaios foram realizados em triplicata (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1992).

Tabela 1 - Características físico-químicas do óleo diesel.

Parâmetro	Resultado
Tipo	D
Densidade relativa (20° / 4° C)	0,8488
Ponto de fulgor (° C)	73
Teor de enxofre (%m/m)	0,14

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo (areia) coletado apresentou textura arenosa e foi classificado, pedologicamente, como areia quartzosa. A textura e classificação do solo são características importantes para o estudo da permeabilidade e espalhamento do óleo diesel, assim como podem influenciar na biodisponibilidade do óleo aos micro-organismos. Os resultados da caracterização da areia podem ser observados na Tabela 2.

Rizzo *et al.* (2008) demonstraram que, em meios líquidos, a biodegradação de óleo é maior do que no solo. Isto se deve a biodisponibilidade do óleo aos micro-organismos, pois no solo, principalmente com características argilosas, ocorre forte interação do óleo com a argila, o que diminui a biodisponibilidade. Propriedades físicas do solo, como textura, estrutura, densidade, porosidade e permeabilidade, são responsáveis pelos mecanismos de atenuação física de poluentes, como filtração e lixiviação, possibilitando ainda condições para que os processos de atenuação química e biológica possam

ocorrer (LOPES *et al.*, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2008). Solos com textura arenosa apresentam maior coeficiente de permeabilidade, enquanto solos com textura argilosa e sedimentos lamosos têm menor permeabilidade e tendência a serem saturados com água, conseqüentemente diminuindo a percolação dos óleos (CAPUTO, 1996).

O pH em torno da neutralidade é adequado para a maioria dos micro-organismos envolvidos no processo de biorremediação, a faixa de pH favorável ao seu crescimento é de 6,0 a 8,0, quando a biodegradação tende a ser mais rápida (ALEXANDER, 1999). Este pH também indica baixa concentração de matéria orgânica, conforme verifica-se na Tabela 2, concentrações altas de matéria orgânica influenciam na percolação do óleo diesel, principalmente em áreas com baixa umidade, isto ocorre devido às características adsorventes da matéria orgânica, sendo muitas vezes usadas nas técnicas de remoção e limpeza em áreas de derramamento (GUEDES *et al.*, 2010).

Tabela 2 - Características físicas e químicas da areia da praia de Suape – PE.

Parâmetro	Resultado
pH	7,3 ± 0,2
Fósforo	4,01 ppm
Potássio	70,00 ppm
Sódio	48,00 ppm
Zinco	3,40 ppm
Cobre	2,00 ppm
Ferro	46,00 ppm
Manganês	1,20 ppm
Alumínio	0,08 meq/100
Cálcio	0,08 meq/100
Magnésio	0,55 meq/100
Matéria Orgânica	0,48 %

Os elementos sódio e potássio estão em concentrações superiores às necessidades microbianas, enquanto o teor de fósforo apresentou baixa concentração, no entanto as concentrações de cálcio e magnésio apresentaram-se em teores adequados. Em relação aos micronutrientes, os elementos zinco, cobre, ferro, manganês e alumínio estão em concentrações elevadas para os padrões microbiológicos (BAILEY & OLLIS, 1997; MADIGAN *et al.*, 1997; ALEXANDER, 1999).

Areias quartzosas presentes em sedimentos coletados na plataforma continental do estado do Ceará apresentaram concentrações de ferro, manganês e cobre superiores, enquanto que a concentração de zinco e matéria orgânica apresentou-se abaixo dos valores encontrados nos sedimentos da praia de Suape – PE (VIDAL *et al.*, 2008).

O conhecimento da composição físico-química da areia é um parâmetro importante para estudos de biorremediação em caso de exposições acidentais à petroderivados. Entre as alternativas, pode-se optar a aplicação

de nutrientes limitantes ao crescimento dos micro-organismos, acelerando os processos de biodegradação, técnica conhecida como bioestímulo (ALEXANDER, 1999; BENTO *et al.*, 2005; LEMOS *et al.*, 2009).

### 3.1. Avaliação do espalhamento do óleo diesel na areia

No estudo do espalhamento unidimensional do óleo diesel na areia *in natura* e nas diferentes granulações, os resultados mostram que houve reprodutibilidade do comportamento, ou seja, o óleo inicialmente se expande no leito com maior velocidade até dado momento em que o seu movimento cessa e se torna desprezível, como observa-se na Figura 1, e matematicamente expresso na Equação 1.

$$L = \frac{L_{m\acute{a}x} t}{t_{1/2} + t} \quad (1)$$

Que pode, também, ser escrita da seguinte forma:

$$\frac{1}{L} = \frac{t_{1/2}}{L_{m\acute{a}x}} \frac{1}{t} + \frac{1}{L_{m\acute{a}x}} \quad (2)$$

Onde,  $L$  é a profundidade alcançada pelo óleo,  $L_{máx}$  é a profundidade máxima alcançada pelo óleo,  $t$  é o tempo e  $t_{1/2}$  é o tempo gasto para alcançar a metade da profundidade máxima. Fazendo-se a representação gráfica da Equação (2), com o inverso

da profundidade do óleo em função do inverso do tempo se obtém correlações lineares, cujos coeficientes (lineares e angulares) nos fornecem os valores teóricos de  $L_{máx}$  e  $t_{1/2}$  para as curvas obtidas.

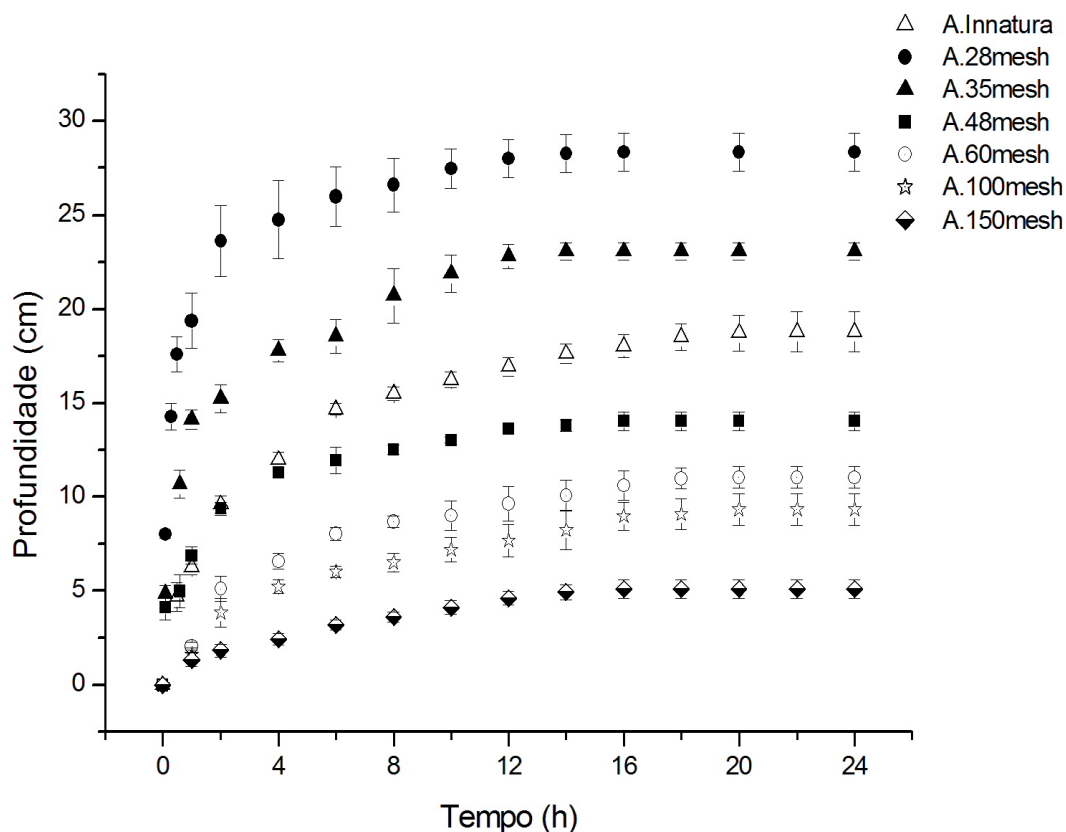


Figura 1 - Profundidade alcançada pelo óleo diesel na areia in natura e nas areias com granulões de 28, 35, 48, 60, 100 e 150 mesh em função do tempo.

Visualmente, constatou-se que à medida que o poluente se dispersa, parte de sua massa fica retida no solo. Isto ocorre porque os poluentes hidrofóbicos ao serem introduzidos no solo migram por gravidade e, durante o percurso, parte desses compostos permanece entre os interstícios do meio poroso, ocupando os volumes vazios (OLIVEIRA NETO *et al.*, 1998). As curvas obtidas retratam este comportamento, o qual é característico de processos em meios porosos e pode ser explicado pelo fenômeno de transição de fases nos modelos de percolação relatados por Oliveira & Braga (2002).

De acordo com Alexander (1999) os hidrocarbonetos também podem ser adsorvidos pela matéria orgânica e por partículas inorgânicas, limitando o seu espalhamento. Para minimizar esse efeito e auxiliar nos tratamentos de remoção do óleo diesel em meios porosos, como o solo, são empregadas microemulsões e lavagens com água contendo compostos, tais como surfactantes e co-surfactantes, que apresentam alta eficiência de remoção (DANTAS *et al.*, 2007). Bioemulsões também podem ser empregadas para aumentar a biodisponibilidade do óleo aos micro-

organismos e acelerar as taxas de biodegradação (CAPPELLO *et al.*, 2012), isto porque, muitas vezes, as baixas taxas de biodegradação estão mais relacionadas à baixa biodisponibilidade do óleo do que propriamente às suas características recalcitrantes (RIZZO *et al.*, 2008).

A taxa de espalhamento do óleo na superfície do solo depende também da tensão superficial na interface óleo-grão-água e da viscosidade do óleo. Dessa forma, para a percolação de óleos com baixa densidade relativa, à medida que a temperatura ambiente se eleva e a taxa de espalhamento aumenta, a tensão superficial tende a diminuir, o que facilita a degradação natural. Quanto menor a tensão superficial do óleo, maior o potencial de molhabilidade do solo.

Na Figura 1, pode-se observar também que com a diminuição do tamanho das partículas, a percolação do óleo ocorre mais lentamente, aumentando o valor de  $t_{1/2}$ . Este comportamento é esperado, pois quanto maior o tamanho

das partículas, maiores são os interstícios entre elas, e menor a superfície de contato, facilitando a percolação do óleo e diminuindo as forças de interação do óleo com o meio poroso.

A Tabela 3 mostra os valores experimentais e teóricos de  $L_{máx}$  e  $t_{1/2}$ . Observa-se que os valores experimentais de  $L_{máx}$  se situaram na faixa de 5,07 cm a 18,80 cm. Isto pode ser uma característica importante para o processo de biorremediação, pois nos primeiros 20 cm de profundidade é onde se encontra grande diversidade microbiana (OLIVEIRA *et al.*, 2008; WU *et al.*, 2011). Além disso, os processos aeróbicos de biodegradação são relatados como os mais rápidos e eficientes, principalmente no caso de compostos orgânicos recalcitrantes, como hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos, que através de reações de oxidação bioquímica, transformam-se em compostos orgânicos mais simples, que podem ser metabolizados por uma maior diversidade de micro-organismos (ALEXANDER,

Tabela 3 - Valores teóricos e experimentais de  $L_{máx}$  e  $t_{1/2}$ .

GRANULAÇÕES	EXPERIMENTAL		TEÓRICO	
	$L_{máx}$ (cm)	$t_{1/2}$ (h)	$L_{máx}$ (cm)	$t_{1/2}$ (h)
<i>in natura</i>	18,80	2,00	18,55	1,57
28 mesh	28,33	0,30	27,39	0,25
35 mesh	23,10	0,60	22,32	0,59
48 mesh	14,03	2,00	13,97	1,47
60 mesh	11,03	2,00	12,15	2,91
100 mesh	9,33	4,00	10,23	3,53
150 mesh	5,07	4,00	6,22	5,15

Sendo a área da secção transversal dos sete tubos de vidro a mesma em todos os ensaios, pode-se

substituir L por V e  $L_{máx}$  por  $V_{máx}$  na Equação 2 de forma a se obter o volume máximo de areia contaminada (Equação 3):

$$\frac{1}{V} = \frac{t_{1/2}^*}{V_{máx}} \frac{1}{t} + \frac{1}{V_{máx}} \quad (3)$$



Onde,  $V$  é o volume de óleo derramado,  $V_{\text{máx}}$  é o volume máximo de areia contaminada,  $t$  é o tempo e  $t_{1/2}^*$  é o tempo gasto para atingir metade do volume máximo de areia contaminada.

Uma estimativa do volume de óleo derramado pode ser obtida combinando-se a área de cobertura de óleo com a profundidade predita de contaminação no sedimento. No entanto, a predição da penetração do óleo na areia depende, além das características do solo, das propriedades físico-químicas do óleo.

A Equação 3 constitui-se de uma ferramenta valiosa para auxiliar na visualização dos problemas ligados aos derramamentos de óleo diesel em areias de praias. Geralmente, poluições por esse tipo de contaminante são decorrentes de vazamentos de tanques de armazenagem, rompimento de dutos ou derramamentos acidentais de óleo nos oceanos. O estudo do comportamento cinético, das taxas de percolação e das profundidades alcançadas pelo óleo em diferentes tipos de solo é de suma importância para direcionar as técnicas de contenção, remoção e biorremediação de óleos em casos acidentais (LOPES *et al.*, 2007; CETESB, 2008; CAPPELLO *et al.*, 2012).

Como relatado por Daniels *et al.* (1995), a remoção do material oleoso em praias pode conduzir a vários problemas de ordem econômica e tecnológica, principalmente quando as praias se localizam em áreas de difícil acesso, fazendo com que a remoção e a disposição do contaminante sejam onerosas. Alguns trabalhos, como os de McWilliams & Sullivan (2000), Rye (2000), Thorpe (2009) e Mariano *et al.* (2010), focalizam o desenvolvimento de modelos matemáticos e programas computacionais na reprodução de fenômenos físicos, químicos e biológicos com o objetivo

de prever o espalhamento do óleo e outros contaminantes, tanto em meios líquidos (oceanos e rios), como em áreas costeiras. Assim como esse trabalho, estes estudos são ferramentas importantes para a prevenção e combate a desastres ambientais.

#### 4. CONCLUSÃO

A profundidade máxima atingida na areia in natura foi de 18,80 cm, o que favorece as técnicas de biorremediação, as quais tem maior eficiência nas camadas superficiais do solo. No entanto, a predição da penetração do óleo diesel na areia depende além das características do solo, das propriedades físico-químicas do óleo, da viscosidade e da tensão superficial na interface óleo-grão-água.

Portanto, dentro das condições do estudo, podemos concluir com os resultados obtidos que o espalhamento do óleo diesel nas areias da praia de Suape – PE, sugere um modelo matemático semelhante à equação de Langmuir. Esse modelo matemático pode ser importante no dimensionamento de áreas atingidas em possíveis acidentes de derramamento de óleo diesel nesse local, assim como em outros locais com características de solo semelhantes. O que auxiliam na aplicação de técnicas de contenção, remoção e biorremediação eficientes para minimizar os danos ambientais.

#### 5. REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, M. Biodegradation and Bioremediation. Academic Press, San Diego: 1999, 452p.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18a ed., Washington: 1992, 905p.
- BAILY & OLLIS. Biochemical Engineering Fundamentals. McGraw-Hill Book

- Company, 2a ed., New York: 1997, 984p.
- BENTO, F.M.; CAMARGO, F.A.O.; OKEKE, B.C.; FRANKENBERGER, W.T. Comparative bioremediation of soils contaminated with diesel oil by natural attenuation, biostimulation and bioaugmentation. *Bioresource Technology*, v.96, p.1049-1055, 2005.
- CALLIARI, L.J.; MUEHE, D.; HOEFEL, F.G.; TOLDO JR., E. Morfodinâmica praial: uma breve revisão. *Revista Brasileira de Oceanografia*, v.51, p.63-78, 2003.
- CAPPELLO, S.; GENOVESE, M.; TORRE, C.D.; CRISARI, A.; HASSANSHAHIAN, M.; SANTISI, S.; CALOGERO, R.; YAKIMOV, M. Effect of bioemulsificant exopolysaccharide (EPS2003) on microbial community dynamics during assays of oil spill bioremediation: A microcosm study. *Marine Pollution Bulletin*, v.64, p.2820-2828, 2012.
- CAPUTO, H.P. *Mecânica de Solos e Suas Aplicações*. Rio de Janeiro: 6 ed., LTC, 1996, 234p.
- CETESB. *Áreas Contaminadas*, 2008. Título da pesquisa disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/areas\\_contaminadas/texto\\_areas\\_cont](http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/areas_contaminadas/texto_areas_cont). Acesso em: 14/12/2012.
- CETESB. DIESEL, FIT – Ficha de Informação Toxicológica, 2012. Título da pesquisa disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/diesel.pdf>. Acesso em 15/12/2012.
- DANIELS, R.E.; HARRISON, A.F.; PARKINSON, J.A.; HALL, G. Disposal of oil in sandy coastal soils. *Research*, v.2, n.2-3, p.161-169, 1995.
- DANTAS, T.N.C.; MOURA, M.C.P.A.; DANTAS NETO, A.A.; PINHEIRO, F.S.H.T.; BARROS NETO, E.L. The use microemulsion and flushing solutions to remediate Diesel-polluted soil. *Brazilian Journal of Petroleum and Revista de Geologia* 28 (1), 2015.
- Gas, v.1, n.1, p.26-33, 2007.
- GAYLARDE, C.C.; BELLINASSO, M.D.L.; MANFIO, G.P. Biorremediação: Aspéctos biológicos e técnicas de biorremediação de xenobióticos. *Biocombustíveis: Ciência & Desenvolvimento*, n.34, p.36-43, 2005.
- GUEDES, C.L.B.; CORRER, C.J.; LOBO, I.; ABI-SAAB, O.J.G. Tratamento de solo contaminado com petróleo utilizando tensoativos e peróxido de hidrogênio. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, v.31, n.2, p.87-100, 2010.
- HOEFEL, F.G. *Morfodinâmica de Praias Arenosas Oceânicas: Uma Revisão Bibliográfica*. FACIMAR. Editora da UNIVALI. Itajaí, Santa Catarina: 1998, 92p.
- LEMONS, J.L.S.; OLIVEIRA, S.D.; SCHLITTLER, L.A.F.S.; PEREIRA Jr, N. Técnicas de biorremediação de solos contaminados por hidrocarbonetos de petróleo. *Diálogos & Ciência*, ano III, n.11, 2009.
- LIMA, P.C.R. O pré-sal e o aquecimento global. *Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados*. Brasília: 2009, 21p.
- LOPES, C.L.; MILANELLI, J.C.C.; POFFO, I.R.F. *Ambientes costeiros contaminados por óleo: procedimentos de limpeza – manual de orientação*. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, CETESB, São Paulo: 2007, 120p.
- LOPES, C.F.; MILANELLI, J.C.C.; PROSPERI, V.A.; ZANARDI, E.; TRUZZI, A.C. Avaliação dos danos ecológicos causados pelo derrame de óleo TEBAR V (maio/1994), sobre comunidades de costões rochosos. *Relatório Técnico*, CETESB, São Paulo: 1996, 25p.
- LUCON, O.; GOLDEMBERG, J. Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil. *Estudos Avançados*, v.23, n.65, p.121-130, 2009.
- MADIGAN, M.T; MARTINKO, J.M., PARKED,

- J. Metabolic diversity among the microorganisms. In: MADIAN, M.T.; MARTINKO, J.M.; PARKED, J. *Biology of Microorganisms*. Upper Saddle, 8<sup>a</sup> ed., p.437-531, New Jusey: 1997.
- MARIANO, A.P.; SILVA, A.J.; OLIVEIRA, V.J.A.; ANGELIS, D.F. Avaliação da dispersão de efluente líquido de refinaria de petróleo. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v.15, n.3, p.251-256, 2010.
- McWILLIAMS, J.C & SULLIVAN, P.P. Vertical mixing by Langmuir circulations. *Spill Science & Technology Bulletin*, v.6, n.3-4, p.225-237, 2000.
- MELO, I.S.; AZEVEDO, J.L. *Microbiologia ambiental*. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariuna: 2008, 647p.
- MOUTINHO, L.M.G. (Coord.). Nota Técnica 11 – Impactos dos Grandes Projetos Federais na Economia de Pernambuco e Proposição de Políticas. Análise do Mapeamento e das Políticas para Arranjos Produtivos Locais no Norte, Nordeste e Mato Grosso e dos Impactos dos Grandes Projetos Federais no Nordeste, 2011, 101p.
- NIKAKHTARI, H.; WANNING, S.; KUMAR, P.; HILL, G.A. Scale up of Diesel oil biodegradation in a baffled roller bioreactor. *Chemosphere*, v.79, p.1010-1016, 2010.
- OLIVEIRA, M.M.; BRAGA, G.A. O fenômeno de transição de fase no modelo de percolação de elos\* em d Dimensões. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.24, n.4. p.448-454, 2002.
- OLIVEIRA, S.D.; LEMOS, J.L.S.; BARROS, C.A.; LEITE, S.G.F. Emprego de fungos filamentosos na biorremediação de solos contaminados por petróleo: Estado da arte. *Série Tecnologia Ambiental*. CETEM/MCT, Rio de Janeiro: 2008, 67p.
- OLIVEIRA NETO, F.A.O.; SANTOS, P.R.; GOMES, Z.L.G.C. Considerações sobre tecnologias para remediação de solos e águas subterrâneas contaminadas e suas aplicações em pólos industriais na região metropolitana de salvador e na antiga fábrica da COBRAC em Santo Amaro-BA. Monografia Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador: 1998, 62p.
- PEREIRA, A.R.B.; FREITAS, D.A.F. Uso de microorganismos para a biorremediação de ambientes impactados. *Revista. Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v.6, n.6, p.975-1006, 2012.
- RIZZO, A.C.L.; CUNHA, C.D.; SANTOS, R.L.C.; SANTOS, R.M.; MAGALHÃES, H.M.; LEITE, S.G.F.; SORIANO, A.U. Preliminary Identification of the Bioremediation Limiting Factors of a Clay Bearing Soil Contaminated with Crude Oil. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v.19, n.1, p. 169-174, 2008.
- RYE, HENRIK. Probable Effects of Langmuir Circulation Observed on Oil Slicks in the Field. *Spill Science & Technology Bulletin*, v.6, n.3/4, p. 263-271, 2000.
- SCHINK, BERNHARD. Principles of Anaerobic Degradation of Organic Compounds. In: JÖRDENING, H.J. and WINTER, J. (eds). *Environmental Biotechnology. Concepts and Applications*. Wiley, Weinheim, p. 229-257, 2005.
- SUAPE, 2010. Refinaria Abreu e Lima. Título da pesquisa disponível em: <http://www.suape.pe.gov.br>. Acesso em 20/09/2010.
- SUGUIO, K. *Geologia Sedimentar*. Edgard Blücher, São Paulo: 2003, 400p.
- THORPE, S.A. Spreading of floating particles by Languimir circulations. *Marine Pollution Bulletin*, v.58, p.1787-1791, 2009.

- VAN ELSAS, J.D. & SMALLA, K. Methods for sampling soil microbes. In: HURST, C.J.; KNUDSEN, G.R.; MCINERNEY, M.J.; STETZENBACH, L.D.; WATER, M.V. Manual Environmental Microbiology. ASM Press, p.383-412, Washington: 1997.
- VIDAL, R.M.B.; BECKER, H.; FREIRE, G.S.S. Geoquímica de sedimentos da plataforma continental do Estado do Ceará – Brasil. *Revista de Geologia*, v. 21, n.2. p.223-232, 2008.
- WU, F.; YANG, W.; ZHANG, J.; LIU, L.; WANG, A. Changes in soil microbial biomass and bacterial diversity during the transition from winter to growing season in the subalpine/alpine forests. *African Journal of Microbiology Research*, v.5, n.31, p. 5575-5583, 2011.