



Copyright 2005, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

UTILIZAÇÃO DA FIBRA DE PAINA (*CHORISIA SPECIOSA*) COMO SORVENTE DE ÓLEO CRU. PARTE I: AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE SORÇÃO

Teoli R. Annunciado, Sandro C. Amico e Thais H.D. Sydenstricker

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Caixa Postal 19.011. 81.531-990. Curitiba-PR.

gralhaazul@universiabrasil.net, amico@ufpr.br, thais@demec.ufpr.br

Resumo – Derramamentos de óleo em águas constituem uma grande preocupação global e vários processos físicos, químicos e biológicos vêm sendo usados para recuperar, remover ou degradar a poluição instalada. Tais derramamentos não apenas representam uma grande perda de óleo, mas também um imenso impacto negativo ao meio ambiente. Vários sistemas comerciais vêm sendo desenvolvidos para o controle desses derramamentos, incluindo o uso de sorventes. Este trabalho está apresentado em duas partes. Na primeira, a paina foi investigada como material sorvente para petróleo. Testes de sorção foram conduzidos em água deionizada e em água salgada artificialmente, a diferentes temperaturas (5 a 50°C) e pH na faixa de 5 a 8, com e sem agitação. A quantidade de água sorvida pelas fibras simultaneamente ao óleo foi investigada em testes de destilação do sorvente impregnado e por testes de sorção na ausência de água. A paina mostrou uma rápida e excelente capacidade de sorção, alcançando 85 g de óleo/g sorvente em 24 horas ou ainda 95 g óleo/g de paina em 7 dias de sorção, e uma sorção concomitante de água muito baixa, entre 2,7-4,1%.

Palavras-Chave: paina; sorvente; óleo cru

Abstract – Oil spill in waters are a major global concern and various physical, chemical and biological processes have been used to recover, remove or degrade oil pollution. Such spills not only represent a great loss of oil but also have a major negative effect on the environment. Various commercial systems have been developed to control these spills, including the use of sorbents. This work is presented in two parts. In the first one, silk-floss was investigated as an oil sorbent material. Sorption tests were carried out in deionized and artificial marine water medium, at different temperatures (5 to 50°C) and water pH condition (from 5 to 8), with and without agitation. Water intake was investigated by tests in dry conditions and distillation of the impregnated oil/water sorbent. Silk-floss showed a very fast and high oil sorption capacity of approximately 85 g oil/g silk-floss in 24 hours or even 95 g oil/g silk-floss in 7 days, and a very low water uptake of around 2,7-4,1%.

Keywords: silk-floss; sorbent, crude oil

1. Introdução

As maiores perdas de petróleo acontecem durante seu transporte marítimo apesar de vazamentos menores em tubulações ou envolvendo tanques contendo óleo, acarretarem também em grandes perdas. Além do prejuízo econômico decorrente da perda do combustível fóssil, a poluição de terras, rios ou mares representa um grande prejuízo ambiental devido aos efeitos nocivos do petróleo à fauna, flora e às fontes de água potável.

A remediação de vazamentos de petróleo pode ser realizada com o uso de sorventes minerais inorgânicos, orgânicos sintéticos ou orgânicos vegetais. Choi e Cloud (1992) investigaram a capacidade de absorção de diferentes perlitas expandidas, um mineral abundante na Grécia. Outros sorventes naturais como queratinas, chitosanas e quitinas mostraram capacidades de reter grandes quantidades de óleo pesado e, ao mesmo tempo, aumentar significativamente a velocidade de degradação do óleo. Setti et al. (1999) reportaram que na presença de sorventes naturais a biodegradação de n-alcenos é reduzida de quarenta para sete dias. Apesar do seu alto custo, o grafite esfoliado também foi estudado como material sorvente devido à sua elevada capacidade de sorção de até 83 g de óleo/g de sorvente (Toyoda et al., 2000).

Apesar de polímeros sintéticos como o polipropileno e as espumas de poliuretano apresentarem elevada oleofilia e hidrofobicidade além de excelente capacidade de sorção de óleo (14 g óleo/g PP e 100 g óleo/g PU, respectivamente), estes materiais degradam muito lentamente resultando em um novo passivo ambiental após sua utilização (Wei et al., 2003; Witka-Jezewska et al., 2003).

Diversos estudos de propriedades de sorção de sorventes naturais e de baixo custo, como os sub-produtos agrícolas e outros tipos de fibras naturais foram realizados por vários autores. Singh et al. (1993) consideraram a palha de cevada, cortiça, casca de amendoim e cabelo humano como materiais sorventes promissores. Substâncias químicas como corantes, sais tóxicos e metais pesados podem ser eficientemente removidos de sistemas secos ou aquosos com materiais orgânicos como a serragem. No entanto, o uso desses materiais para a despoluição pode necessitar do pré-tratamento das fibras para aumento da capacidade e eficiência da sorção. Limpeza, redução de tamanho de fibra, tratamento superficial ou mesmo mistura com outras fibras ou produtos químicos podem ser necessários na preparação de um bom sorvente, com evidente adição de custos (Shukla et al., 2002).

Embora produtos orgânicos vegetais apresentem normalmente flutuabilidade em água deficiente e capacidade de sorção relativamente baixa como é o caso da palha, sabugo de milho e fibras de madeira (Schatzberg, 1971), alguns materiais celulósicos como o kapok, kenaf e o algodão podem exibir capacidade de sorção superior à do polipropileno (Johnson et al., 1973; Choi e Cloud, 1992). Fibras de paina apresentam muitas vantagens quando usadas como sorventes para o petróleo devido à sua alta capacidade de sorção, alta hidrofobicidade e flutuabilidade (Annunciado, 2005). Sua natureza celulósica auxilia na degradação do óleo em sistemas aquosos e seu baixo custo torna a paina um material comercialmente muito promissor na limpeza de derramamentos de óleo. A paineira ou *Chorisia speciosa* St. Hil. é uma árvore de grande porte e tronco robusto que alcança 30 m de altura e é muito usada em paisagismo devido à sua beleza e capacidade de recuperar áreas degradadas (Terrabrasil, 2005). O fruto da paineira possui uma cápsula globulosa, de 20 cm de comprimento por 5 cm de diâmetro com numerosas sementes envolvidas em filamentos sedosos conhecidos como paina (Esalq, 2005). No Brasil a paina é abundante nos estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais, Goiás, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná. Embora no passado a paina tenha sido muito usada no enchimento de colchões, travesseiros e bóias de embarcações, hoje apresenta utilização bastante limitada e baixo valor agregado se comparado ao da esponja vegetal e do algodão. (Lorenzi, 1992; Corrêa, 1978).

Na parte I deste artigo, as fibras de paina foram estudadas como materiais sorventes para óleo em várias condições de derramamento, isto é, em meio seco ou aquoso, doce ou salgado, em sistema estático ou agitado com variação de temperatura e pH. Na parte II deste artigo, foi feito um esforço para se caracterizar de forma abrangente as fibras de paina, abordando a relação entre as suas características físico-químicas, térmicas e morfológicas e sua elevada capacidade de sorção.

2. Materiais e Métodos

O petróleo usado em todos os experimentos de sorção, oriundo de Bacia de Campos/RJ, foi doado pela Repar/Petrobrás. A densidade do óleo bruto, 0,887 g/cm³ a 20°C, foi determinada conforme a norma ASTM D1298-85. A viscosidade do óleo, 34 cp a 20°C foi determinada com o auxílio de um reo-viscosímetro Hoeppler da marca MLU.

As fibras de *Chorisia speciosa* st. Hill (chamada de paina no decorrer deste trabalho) foram obtidas a partir de árvores locais. Devido ao grande volume ocupado pela paina, sua densidade foi estimada em menor que 0,62 g/cm³ pelo imersão de uma porção da amostra em um becker contendo pentano. A densidade do pentano foi determinada segundo a norma ASTM D4052, com o auxílio do densímetro automático DMA 4500.

2.1. Testes de Sorção

O conjunto de testes de sorção foi subdividido em três sistemas: Sistema seco, sistema estático e sistema dinâmico. Para o sistema seco, 0,1 g de paina foi colocada em contato com 50 ml de óleo a 20°C durante tempos variados (1 minuto até 21 dias). O material foi retirado por um coletor de nylon, drenado durante 5 minutos e pesado em uma balança digital semi-analítica. Experimentos de sorção foram realizados com 3-5 repetições. A sorção foi expressa

na forma de quantidade de óleo sorvido por massa seca (S_o) do material sorvente (paina) como mostra a equação: $S = (S_t - S_o)/S_o$, onde S_t é a massa total da amostra após sorção.

Os testes em sistema estático seguiram a mesma metodologia em relação ao sistema seco, porém utilizando água deionizada a 20°C e pH = 7, nos tempos de 5, 20, 40, 60 e 1440 min (24h). Assim, em um becker contendo 80 ml de água foram adicionados 20 ml de óleo para a paina e 10 ml de óleo para o sisal com o auxílio de um pipetador automático. A escolha da quantidade de óleo foi feita de forma a garantir a presença de óleo remanescente no becker após a completa sorção em todos os testes. O tempo de sorção (60 minutos) que apresentou sorção acima de 90% da capacidade de sorção em 24 h foi usado em testes posteriores.

No terceiro sistema, sistema dinâmico, foi usada a mesma metodologia do sistema estático, porém com agitação (aproximadamente 500 rpm) através de um agitador magnético isotérmico (Scincetool-78 HW-1).

Os dados de sorção do sistema seco foram comparados aos do sistema estático para a estimativa do teor de água sorvido nas fibras. Esta estimativa foi comparada com a determinação do teor de água por destilação (ASTM D95-83), que consiste na destilação da amostra da fibra (após ser usada em testes de sorção) com a mistura tolueno/xileno na proporção de 1:4. A quantidade de água presente na amostra é arrastada pelo vapor gerado a partir da mistura de solventes aquecidos e é retida por um coletor.

Em outra bateria de testes, os ensaios foram realizados durante 60 minutos em sistema estático e dinâmico, seguindo a mesma metodologia acima exceto pelo fato de ser usada água marinha artificialmente produzida de acordo com a norma ASTM D1141-90 no lugar da água deionizada. Testes de sorção em diferentes temperaturas foram realizados expondo-se as amostras em contato com um banho isolado, alimentado pelo banho ultra-termostático. Foi usada uma bomba peristáltica para a alimentação do banho isolado e um conjunto de leitor com termopares para o monitoramento das temperaturas. Testes foram realizados também com pH igual a 5,0 e 8,0 com o intuito de observar a capacidade de sorção em situações extremas utilizando-se solução de NaOH e HCl 0,1 mol/L para o seu ajuste, determinados conforme a norma NBR 10891 em um pHmetro.

3. Resultados

A Figura 1a mostra a evolução da sorção com o tempo por um período de 21 dias, no sistema estático, e pode ser visto que há uma acentuada sorção nos primeiros estágios do experimento, seguido de uma sorção cada vez mais lenta.

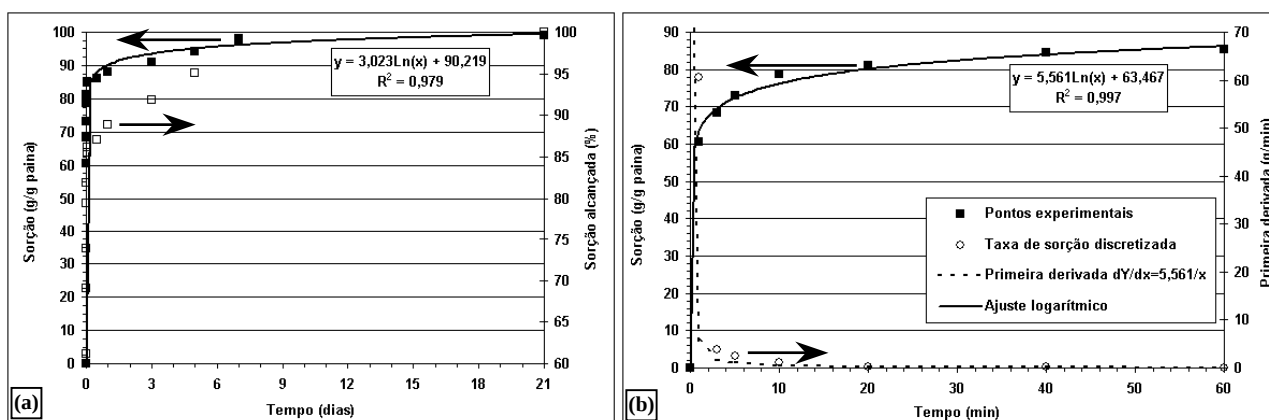


Figura 1. Sorção de óleo da paina por 21 dias (a) e por 60 minutos (b) a 20°C

Embora não esteja claro a partir desta figura se a máxima capacidade de sorção (“equilíbrio”) do sorvente (dentro de 0,001 g de precisão) foi alcançada nos 21 dias (≈ 99.0 g/g sorvente), a taxa de sorção decresce a valores que em termos práticos podem ser considerada inexistente. De fato, a Figura 1b mostra que a taxa de sorção diminui de 60 g/min (no primeiro minuto) para menos de 0.05 g/min (em 60 minutos). Esta taxa continua decrescendo para em torno de 2 g/dia (em 12 horas), e finalmente para menos que 0,1 g/dia (em 21 dias) e devido a isso, a sorção em 21 dias foi chamada neste trabalho de capacidade de sorção (100% sorção). Se esta fibra for usada como sorvente, irá alcançar 85%, 90%, 95% e 99% da sua capacidade de sorção em menos de 40 minutos, três dias, cinco dias e sete dias, respectivamente (ver eixo-Y secundário da Figura 1a). Do ponto de vista prático, pode não ser interessante esperar mais 14 dias (após o período de sete dias iniciais) pela sorção dos 1% restantes. No caso de utilização da paina em campo para limpeza de derramamento de óleo, se necessário, uma nova bateria de sorventes poderia ser usada após uma semana para a remoção do óleo residual. Para a mais rápida remoção do contaminante, talvez seja interessante substituir o sorvente após um curto período de sorção 40 minutos (85% da capacidade de sorção) ao invés de esperar por 7 dias.

Uma taxa de sorção inferior a 0,05 g/min é considerado um valor razoavelmente baixo, sendo assim, o tempo de 1 hora considerado o suficiente para aproveitar praticamente todo o potencial que a fibra tem em sorver o petróleo. Assim, outros testes como comparação entre água doce e salgado, efeito de pH, granulometria e temperatura foram todos realizados apenas em 60 minutos.

O uso de uma equação que se ajusta a um comportamento em sorção é vital para o desenvolvimento de ferramentas necessárias para elaboração de um plano de resposta para um derramamento em particular. Na Figura 1a, foi realizada uma tentativa de ajustar o comportamento de sorção com uma equação logarítmica simples ($y = 3,023\ln(x) + 90,219$). Mesmo com estrutura extremamente heterogênea das fibras (ex. distância entre os filamentos das fibras) da paina, foi obtido um alto coeficiente de correlação ($R^2 = 0,979$). O ajuste logarítmico alcança um coeficiente de correlação ainda mais elevado ($R^2 = 0,997$), se os dados usados corresponderem a um espaço de tempo menor (60 minutos, na Figura 1b). A derivação desta equação levou a uma curva (linha tracejada na Figura 1b) bem próxima da derivação discreta dos pontos experimentais (círculos vazados na Figura 1b). Ambos os modelos mostram que a taxa de sorção decresce acentuadamente com o tempo.

3.1 Influência das Condições Experimentais na Sorção de Óleo e Água

A Tabela 1 compara os resultados obtidos nos vários sistemas estudados. Para uma boa comparação da sorção de óleo entre os sistemas estático e dinâmico é preciso considerar uma combinação de vários fatores, como: contato água/fibra e óleo/fibra, flutuabilidade, hidrofobicidade, acessibilidade das fibras secas ao óleo uma vez que as primeiras camadas de fibras ficam “molhadas”, capacidade e tempo de sorção necessário para atingir o equilíbrio. A influência combinada desses fatores depende das características de cada fibra e por essa razão, fica difícil uma predição geral. Uma análise mais detalhada desses aspectos está discutida abaixo para a fibra de interesse, a paina.

Tabela 1. Teor de água retida pelas fibras de paina

Tempo (minutos)	Sistema seco	Sistema estático			Sistema dinâmico	
	A Sorção óleo (g óleo/g sorvente)	B Sorção (g/g sorvente)	C Teor de água (B- A) g (% do B)	D Teor de água por destilação g (% do B)	E Sorção (g /g sorvente)	F Teor de água por destilação g (% de E)
5	73,9	78,8	5,0 (6,3%)	2,7 (3,4%)	68,7	2,0 (2,9%)
20	75,2	79,2	3,9 (4,9%)	----	72,9	----
40	79,5	83,9	4,4 (5,2%)	----	74,5	----
60	81,0	85,2	4,3 (5,0%)	3,5 (4,1%)	77,6	2,7 (3,5%)
1440	84,9	87,1	2,2 (2,5%)	2,7 (3,1%)	85,8	2,3 (2,7%)
	Média:	---	4,8%	3,5%	---	3,0%

Nem todo ganho de massa das Figuras 1a e 1b se refere à sorção de óleo, uma vez que água também é incorporada na massa das fibras. Nesta tabela, a diferença de sorção entre os sistemas estático (coluna B: água + óleo) e seco (coluna A: apenas óleo) sugere que a sorção de água variou entre 2,5-6,3% da massa total (coluna C). No entanto este método de comparação direta entre os sistemas seco e molhado para avaliar a sorção de água irá dar resultados acurados somente se as cinéticas de sorção nestes dois sistemas forem comparáveis. Devido a este obstáculo, a técnica de destilação de uma mistura de solventes para separar a água por arraste de vapor também foi realizada para confirmação dos dados obtidos. Neste caso, uma faixa mais estreita de resultados foi obtida pelo método da destilação (coluna D), com o teor de água variando de 3,0% a 3,9%. Além do mais, devido a poucas diferenças encontradas na coluna D da Tabela 1 e considerando o erro experimental deste método, pode ser concluído que não houve variação no teor de água sorvida ao longo do tempo. A baixa magnitude de sorção de água da paina, extremamente baixa para fibras vegetais, é muita vantajosa em situações de remoção de óleo da superfície da água.

A Tabela 1 indica também que a comparação direta entre os experimentos com e sem água pode levar a resultados enganosos. A coluna E (sorção de óleo em sistema dinâmico) resultou em valores menores em relação à coluna A (sorção de óleo em sistema seco) em até uma hora de experimento. Isso aconteceu devido ao freqüente contato água/fibra promovida pela agitação, diminuindo a taxa de sorção de óleo. A sorção combinada de óleo e água não sendo suficiente para igualar a sorção de óleo do sistema seco é uma indicação da hidrofobicidade da paina. O sistema dinâmico, por conseguinte, confirmou a necessidade do uso da técnica de destilação, o qual resultou em um teor de água sorvida (coluna F) na faixa de 2,7-3,5%, ou seja, uma faixa similar em relação ao sistema estático. Poderia-se esperar que, para o sistema dinâmico, uma vez que há maior contato água fibra, maior seria o teor de água sorvida, o que não acontece, sugerindo que a fibra tem natureza hidrofóbica.

Considerando que a sorção de água pela paina não é dependente do tempo de sorção e nem da agitação, todos os sistemas devem atingir valores razoavelmente constantes de sorção de óleo ao aproximar de um “equilíbrio”. A Figura 2 mostra a evolução da sorção ao longo do tempo para os três sistemas.

Se a média do teor de água sorvido em sistema estático (3,5% na Tabela 1) for subtraída de cada ponto da curva do sistema estático, uma nova curva é construída (sistema estático menos água na Figura 2), onde cada ponto se aproxima mais do sistema seco. Para o sistema dinâmico um cenário diferente é visualizado. A curva do sistema dinâmico está abaixo do sistema seco na maioria dos tempos, sugerindo que a cinética de sorção é alterada pela agitação, que favorece o contato água/fibra e retarda a sorção do óleo. Uma vez que a média de sorção de água para o sistema dinâmico (3,0% média da coluna F na Tabela 1) é subtraída dos dados de sorção total, o resultado (curva do sistema dinâmico menos água na Figura 2) se aproxima do sistema seco em longo prazo. Normalmente, a literatura aponta como a principal desvantagem de fibras vegetais a sorção de grande quantidade de água em relação ao óleo, porém isto não foi verificado para a paina, onde a quantidade de água sorvida em relação ao óleo foi de no máximo 4,1% para o sistema estático.

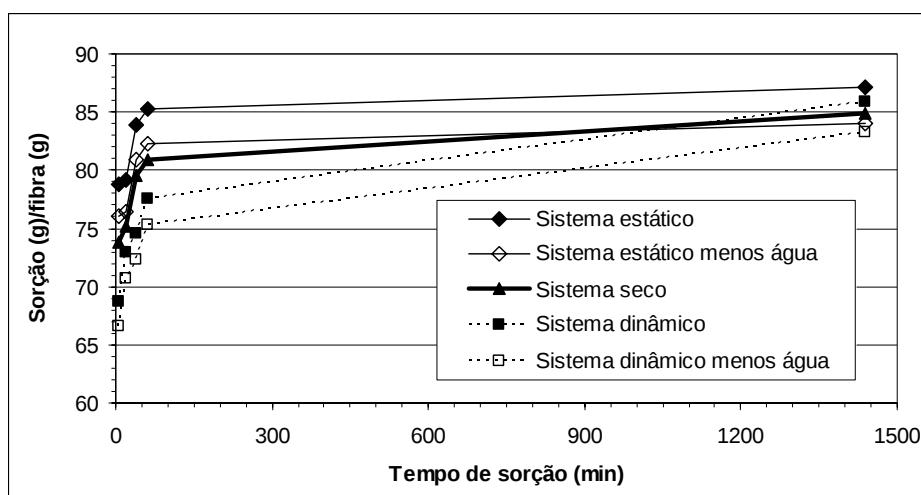


Figura 2. Evolução da sorção ao longo do tempo

Mesmo descontando o teor de água incorporado, as fibras de paina chegam a sorver aproximadamente 85 g de óleo/g de fibra em 24 horas independentemente do sistema analisado. Esta sorção é bem maior que a sorção de outras fibras vegetais reportadas na literaturas e é até mesmo comparável a de materiais sintéticos. Wei et al. (2003) encontrou um valor máximo de 14 g de óleo cru/g de sorvente para diferentes polipropilenos comerciais não tecidos. Witka-Jezewska et al. (2003) encontraram valores de sorção de 30 g óleo/g de viscose rayon e 40 g óleo/g de polipropileno, sendo que a espuma de poliuretano alcançou o mais alto valor de sorção, que foi de 100 g de óleo/g de sorvente.

Os resultados de sorção sob diferentes condições de temperatura e pH para o sistema estático são mostrados na Tabela 2. Como se pode ver, a variação do pH da água, para o sistema estático, não mostrou efeito significativo na sorção, uma vez que a água não está em contato direto com as fibras nas primeiras fases da sorção (ex. até 60 minutos).

Tabela 2. Sorção pela paina em diferentes condições experimentais em 60 minutos em sistema estático

Sistema	pH	Temperatura (°C)	Condição da água	Sorção (g/g paina)	Variação com relação ao padrão (estático, pH=7, 20°C, água deionizada)
Estático	7	5	Deionizada	98,9 ± 6,6	+ 16,1%
Estático	7	10	Deionizada	89,2 ± 4,7	+ 4,7%
Estático	7	20	Deionizada	85,2 ± 3,7	N/A
Estático	7	30	Deionizada	79,6 ± 6,8	- 6,6%
Estático	7	50	Deionizada	71,3 ± 5,1	- 16,3%
Estático	7	20	Marinha	82,8 ± 3,6	- 2,8%
Estático	5	20	Deionizada	85,1 ± 2,0	- 0,1%
Estático	8	20	Deionizada	84,3 ± 1,7	- 1,1%
Dinâmico	7	20	Deionizada	77,6 ± 5,0	- 8,9%
Dinâmico	7	20	Marinha	77,5 ± 6,1	- 9,0%
Seco	N/A	20	N/A	81,0 ± 2,1 (somente óleo)	- 4,9%

Tanto no sistema estático como no sistema dinâmico, o uso de água marinha artificial nos testes não comprometeu a capacidade de sorção. Uma vez que as medidas estão dentro do erro experimental, nenhuma tendência em particular foi identificada, sugerindo que as fibras podem ser usadas em qualquer caso de mitigação com eficiência de remoção de óleo similar.

A avaliação da temperatura, no entanto, mostrou influir consideravelmente na sorção, que aumenta com o decréscimo de temperatura. Isso ocorreu pois o aumento da viscosidade a baixas temperaturas não foi suficiente para diminuir a taxa de sorção, e talvez mais importante, quando o sorvente é removido do óleo, a coesividade do óleo, em viscosidades mais altas, arrasta mais óleo da superfície da água, aumentando a sorção medida. Toyoda et al. (2000), por outro lado, reportou uma diminuição na capacidade de sorção máxima de grafite esfoliada para mais baixas temperaturas. A extrema diferença estrutural da grafite para a paina explica este comportamento aparentemente antagônico. Para a grafite, óleo é absorvido nos poros das fibras e, portanto um aumento de viscosidade dificulta a impregnação destes poros por um óleo mais viscoso. Para a paina, no entanto, o óleo ocupa o espaço (volume) livre entre filamentos fibrosos e, portanto a capacidade de sorção é bem menos afetada por um aumento de viscosidade.

4. Conclusões

Grande parte da sorção de óleo nas fibras de paina ocorreu nos primeiros minutos, ou seja, grande parte do potencial de sorção das fibras é atingido em curto espaço de tempo. A taxa de sorção caiu continuamente com o tempo e a capacidade máxima (99 g óleo/g de paina) só foi alcançada em 21 dias de sorção.

A paina apresentou uma rápida e alta capacidade de sorção de óleo de aproximadamente 85 g óleo/g de paina em qualquer sistema estudado para um tempo de 24 horas. A mudança de água deionizada para água marinha artificial não exerceu efeito significativo sobre os resultados de sorção, indicando que o comportamento de uma determinada barreira de sorção seria similar em qualquer meio. Também não houve uma diferença significativa na sorção entre os sistemas estático e dinâmico, para períodos superiores a 60 minutos.

A capacidade de sorção da paina aumentou com a diminuição de temperatura, pois: (i) quando o sorvente é removido do óleo, a coesividade do óleo, em viscosidades mais altas, arrasta mais óleo da superfície da água, aumentando a sorção medida, e (ii) para a paina, o mecanismo de retenção de óleo é basicamente pelo acúmulo deste nos espaços (volume) livres entre filamentos fibrosos e não nos seus poros e, portanto, a capacidade de sorção é bem menos afetada por um aumento de viscosidade.

É possível ter uma estimativa do teor de água simultaneamente sorvido através do método de comparação direta, porém determinações mais exatas deste teor podem ser obtidos por destilação do sorvente impregnado de óleo. O teor de água sorvido concomitantemente ao óleo na paina não variou com o tempo de sorção, tendo-se mantido em uma faixa extremamente baixa para fibras vegetais, entre 2,7-4,1%.

A segunda parte deste artigo irá abordar com detalhes as características físicas e químicas que tornam a paina um excelente material sorvente para o óleo cru, se destacando mesmo entre os sorventes sintéticos, com a grande vantagem de ser ecologicamente mais amigável. Estas vantagens, aliada ao seu baixo custo, podem tornar esta fibra um produto nacional sorvente altamente competitivo no mercado.

5. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o PRH-24/ANP/MCT, a Repar/Petrobrás e o laboratório de Engenharia Química/UFPR.

6. Referências

- ANNUNCIADO, T.R. Estudo da *chorisia speciosa* e outras fibras vegetais como sorventes para o setor de petróleo. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia/UFPR, 2005.
- CHOI, H.M., CLOUD, R.M. Natural sorbents in oil-spill cleanup. *Environmental Science & Technology* 26 (4), p. 772-776, 1992.
- CORRÊA, M.P. Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas. Imprensa Nacional, Rio de Janeiro, 1978.
- ESALQ (Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz") <http://www.esalq.usp.br/trilhas/uteis/ut07.php> disponível em 03/02/2005 acessado às 15:24h.
- JOHNSON, R.F., MANJREKAR, T.G., HALLIGAN, J.E. Removal of oil from water surfaces by sorption on unstructured fibers. *Environmental Science and Technology*. v. 7, n. 5, p. 439-443, 1973.
- LORENZI, H. Árvores Brasileiras. Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa. Ed. Plantarum, p. 352, 1992.
- SCHATZBERG, P. U.S. Coast Guard Rep. N°. 724110.1/2/1. U.S. Coast Guard Headquarters, Washington, DC, 1971.
- SETTI, L., MAZZIERI, S., PIFFERI, P.G. Enhanced degradation of heavy oil in an aqueous system by a *Pseudomonas* sp. in the presence of natural and synthetic sorbents. *Bioresource Technology*, v. 67, n. 2, p. 191-199, 1999.
- SHUKLA, A., ZHANG, Y.H., DUBEY, P. MARGRAVE, J.L.; SHUKLA, S.S. The role of sawdust in the removal of unwanted materials from water. *Journal of Hazardous Materials*, v. 95, n. 1-2, p. 137-152, 2002.
- SINGH, D.K., TIWARI, D.P., SAKSENA, D.N.A. Influence of Fiber Surface Treatment on the Properties of Sisal-Polyester Composites. *Indian Journal of Environmental Health*, v. 35, p. 169, 1993.
- TERRABRASIL http://www.terrabrasil.org.br/ecosistema/ecosist_paineira.htm disponível em 03/02/2005 acessado às 17:09h.
- TOYODA, M., MORIYA, K., AIZAWA, J., KONNO, H., INAGAKI, M. Sorption and recovery of heavy oils by using exfoliated graphite Part I: Maximum sorption capacity. *Desalination*, v. 128, n. 3, p. 205-211, 2000.
- WEI, Q.F., MATHER, R.R., FOTHERINGHAM, A.F., YANG, R.D. Evaluation of nonwoven polypropylene oil sorbents in marine oil-spill recovery. *Marine Pollution Bulletin*, v. 46, n. 6, p. 780-783, 2003.
- WITKA-JEZEWSKA, E., HUPKA, J., PIENIAZEK, P. Investigation of oleophilic nature of straw sorbent conditioned in water. *Spill Science & Technology Bulletin*, v. 8, n. 5-6, p. 561-564, 2003.