



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

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE SORÇÃO DE ÓLEO CRU DE DIFERENTES FIBRAS VEGETAIS

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

Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Paraná (UFPR).
Caixa Postal 19.011. 81.531-990. Curitiba-PR.
gralhaazul@universiabrasil.net, thais@demec.ufpr.br, amico@ufpr.br

Resumo – Derramamentos de óleo constituem uma grande preocupação global devido ao seu impacto negativo no meio ambiente e na economia. Vários sistemas comerciais vêm sendo desenvolvidos para o controle desses derramamentos, incluindo o uso de fibras vegetais como sorventes. O objetivo deste trabalho foi investigar a paina (*Chorisia speciosa* St. Hill), a *Luffa cylindrica* (esponja vegetal), a serragem, o sisal (*Agave sisalana*), a fibra de coco (*Cocos nucifera*) e resíduos vegetais como sorventes alternativos de baixo custo para a remoção do óleo cru. Testes de sorção foram realizados em água deionizada e em água marinha, preparada artificialmente, e em sistema estático e com agitação. A paina mostrou uma rápida sorção de óleo e uma excelente capacidade de sorção, de 85 g óleo/g sorvente (em 24 horas), um alto grau de hidrofobicidade e baixa sorção de água. A capacidade de sorção das outras fibras foi reduzindo na sequência: Sisal e serragem, coco, bucha vegetal e rejeitos folhosos. Varias destas fibras mostraram poder ser utilizadas em ambientes secos, por outro lado, testes de flutuabilidade indicaram a inabilidade do sisal, da bucha vegetal e da serragem de ser utilizados em corpos hídricos, enquanto rejeitos folhosos e fibras de coco podem ser adequadas para ambientes marinhos.

Palavras-Chave: Derramamento de óleo; fibras vegetais; sorção; paina.

Abstract – Oil spills are a global concern due to their environmental and economical impact. Various commercial systems have been developed to control these spills, including the use of vegetable fibers as sorbents. This research investigates the use of various vegetable fibers, namely, mixed leaves residues, mixed sawdust, sisal (*Agave sisalana*), coir fiber (*Cocos nucifera*), sponge-gourd (*Luffa cylindrica*) and silk-floss as low-cost sorbent materials for crude oil. Sorption tests with crude oil were conducted in deionized and marine water media, with and without agitation. Water uptake by the fibers was investigated by tests in dry conditions. The silk-floss showed a rapid oil sorption and a very high sorption capacity of approximately 85 g oil/g sorbent (in 24 hours), high degree of hydrophobicity and low water uptake. Sisal and sawdust, coir fiber, sponge gourd and leaves residues showed increasingly lower sorption capacities. Nevertheless, several of the low-cost vegetable fibers investigated may be used in dry environments, with variable sorption capacity. On the other hand, buoyancy tests indicated the inability of sisal, sponge gourd and sawdust to be used in any water oil-spill conditions, whereas the leaves residues and the coir fiber may be adequate for marine environments.

Keywords: Oil spill; sorbents; vegetable fibers; sorption experiments; silk floss.

1. Introdução

O petróleo é a fonte mais importante de energia e de matéria-prima para a produção de polímeros sintéticos. No entanto, durante a exploração, transporte ou armazenamento de petróleo e seus derivados existe o risco de ocorrerem derramamentos com potencial para causar grandes danos ambientais.

Quando petróleo é derramado em um meio marinho, podem ocorrer espalhamento de óleo, evaporação, dissolução, fotólise, biodegradação e emulsificação água-óleo. Processos mecânicos, físicos, químicos e biológicos podem ser usados para recuperar, remover ou degradar o óleo. No entanto, a recuperação mecânica do óleo por sorventes é o processo mais utilizado na mitigação de derramamentos de óleo (Wei et al., 2003; Ribeiro et al., 2000).

Devido às propriedades de formação de filmes, a poluição oriunda do derramamento de petróleo compromete a economia, a vida marinha, o lazer e o turismo em áreas afetadas. O crescimento excessivo de algas verdes altera a cor do mar afetando a beleza da paisagem, sem contar com o forte cheiro de óleo que pode ser percebido a quilômetros de distância. Após um derramamento, o óleo se espalha muito rapidamente. Em rios, os poluentes são levados pela correnteza causando grandes prejuízos. Em mar aberto e em portos as correntes agravam as consequências da poluição instalada (Bucas and Saliot, 2002). É essencial a ação rápida de controle e recuperação de óleo através do uso de bombas e materiais sorventes eficientes.

A temperatura da água, a velocidade de ventos e condições do mar têm intenso efeito na extensão do espalhamento do óleo. Além disso, ocorrem mudanças na composição do óleo devido à perda de frações voláteis, que alteram a densidade e ponto de fulgor do material. O espalhamento determina o destino do óleo perdido por evaporação, emulsificação ou dispersão (Reed et al., 1999). O óleo cru afeta a fauna marinha através de vários mecanismos similares aos que ocorrem com óleos vegetais ou animais, sendo os pássaros os animais mais afetados (Bucas and Saliot, 2002).

Duas grandes categorias de fenômenos de sorção podem ser diferenciadas pelo grau com que a molécula de sorbato interage com o sorvente e a liberdade com que migra para o sorvente: adsorção e absorção. Na adsorção, o acúmulo do soluto é geralmente restrito a uma superfície ou interface entre a solução e o adsorvente. Já a absorção é um processo no qual o soluto, transferido de uma fase para outra, interpenetra na fase do sorvente no mínimo alguns nanômetros. A sorção resulta de uma variedade de diferentes forças de atração entre moléculas de soluto, solvente e sorvente (Weber et al., 1991).

Apesar de polímeros sintéticos como o polipropileno serem considerados sorventes ideais para a recuperação de óleos devido à sua baixa densidade e pequena absorção de água, excelente resistência física e química e alta capacidade de sorção, esses materiais não provêm de fonte renovável e não são biodegradáveis. Fibras vegetais são materiais ecologicamente amigáveis, têm densidades próximas ou mesmo menores às dos polímeros sintéticos e podem apresentar alta capacidade de sorção de óleo e baixo custo (Wei et al., 2003).

O objetivo deste trabalho é investigar o potencial de diferentes fibras vegetais, resíduos folhosos, serragem, sisal, coco, esponja vegetal e paina como materiais sorventes para o setor do petróleo.

2. Materiais e Métodos

O petróleo usado em todos os experimentos de sorção, oriundo de Bacia de Campos/RJ, foi doado pela Petrobrás, Unidade de negócio Refinaria Getúlio Vargas (Repar). 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 Hoesppler da marca MLU.

Esponjas de *Luffa cylindrica* (sem epiderme) foram doadas pela empresa de cosméticos Driana, sisal em forma de cordas pela Cisaf-Nutrinus/RN e fibras de coco pela Embrapa/CE. A serragem foi fornecida pela marcenaria local (Centro Politécnico/UFPR) e os rejeitos folhosos foram adquiridos de uma empresa local de limpeza. As fibras de *Chorisia speciosa* st. Hill foram obtidas a partir de árvores locais. Devido à grande variabilidade das fibras vegetais, principalmente as oriundas de resíduos, foi realizada amostragem representativa, incluindo técnicas de quarteramento.

Com exceção da *Chorisia speciosa* (por apresentar uma estrutura em forma de chumaços), as fibras foram moídas em um moinho de facas (Rome) e classificadas em um conjunto de peneiras com o auxílio de agitação. A faixa granulométrica de 1,70mm a 850 µm foi escolhida como a granulometria padrão para os testes de sorção por haver um maior percentual de fibras de rejeitos folhosos vegetais, serragem e bucha vegetal retidas, como também uma quantidade suficiente das outras duas fibras (i.e. sisal e fibra de coco). No caso da *Chorisia speciosa*, as cascas e as demais impurezas como detritos, galhos e folhas foram separadas.

Testes de flutuabilidade foram realizados em água deionizada para simular um corpo hídrico de água doce e em água marinha artificialmente preparada. Estes testes foram realizados seguindo o trabalho de Ribeiro et al. (2000) que consiste em duas fases: (i) Teste estático onde 2 g de amostra é imerso em uma coluna de água de 80 mm durante 15 minutos e a porção flutuante é recolhida e calculada em relação à porção total; (ii) Teste dinâmico onde 2 g da amostra é exposto sob agitação durante 10 minutos e a porção flutuante é recolhida e calculada similarmente à primeira fase. A flutuabilidade (F%) é expressa em percentual de quantidade de material que permaneceu na superfície (m_f) do líquido em relação à quantidade total, ou seja, inicial do material (m_0), seguindo a equação: $F(\%) = (m_f/m_0) \times 100$.

Testes de hidrofobicidade das fibras foram realizados de acordo com Ribeiro et al. (2003), o qual expõe 1g de fibra seco sob agitação durante 3 minutos em uma mistura heterogênea de água e hexano, seguido de repouso por 5

minutos. A equação: $H(\%) = (m_h/m_o) \times 100$ correlaciona a proporção de material transferido para a fase orgânica (m_h), em relação à massa inicial (m_o) do material, como grau de hidrofobicidade ($H\%$).

2.1. Determinação das Condições de Ensaio e Avaliação da Capacidade de Sorção das Fibras

Este conjunto de testes foi subdividido em três sistemas: Sistema seco, sistema estático e sistema dinâmico. Para o sistema seco, foram utilizados 0,5 g de fibra vegetal, com a exceção da *Chorisia speciosa* que foi utilizado 0,1 g devido ao seu grande volume ocupado em forma de chumaço. Cada uma das fibras foi colocada em contato com 50 ml de óleo à 20°C durante 60 minutos. Os materiais foram retirados por um coletor de nylon, drenados durante 5 minutos e pesados em uma balança digital semi-analítica. Experimentos de sorção foram realizados para cada uma das fibras vegetais com 3-5 repetições. A sorção foi expressa na forma de quantidade de óleo sorvido por massa seca do material (S_o) sorvente como mostra a equação: $S = (S_t - S_o)/S_o$, onde S_t é a massa total das amostras após sorção.

Nos testes em sistema estático, utilizou-se água deionizada a 20°C e pH 7 nos tempos de 5, 20, 40, 60 e em 1440 min (24h). Em um becker contendo 80 ml de água foram adicionados 20 ml de óleo para a *Chorisia speciosa* e 10 ml de óleo para o sisal com o auxílio de um pipetador automático. Para as demais fibras foram adicionados 5 ml de óleo em cada teste. 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. Os dados de sorção do sistema seco foram comparados aos do sistema estático para a estimativa do teor de água sorvido nas fibras.

Na terceira etapa, sistema agitado, foi usada a mesma metodologias do sistema estático, porém, com a agitação (aproximadamente 500 rpm) através de um agitador magnético isotérmico (Scincetool-78 HW-1).

Em outra bateria de testes, os ensaios foram realizados durante 60 minutos para cada uma das fibras em sistema estático e agitado, 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. Ainda, testes de sorção em sistema seco por 60 minutos foram realizados para as fibras com granulometria acima de 3,35 mm e na faixa granulométrica de 1,70 mm a 850 µm, para a avaliação do efeito da granulometria na sorção.

3. Resultados e Discussão

3.1. Efeito da Granulometria

A Tabela 1 mostra os resultados encontrados quanto ao efeito da granulometria das fibras na sorção, onde se nota que, para todas as fibras, a redução na granulometria da fibra, de acima de 3,35 mm para a faixa de 1,70 mm - 850 µm, é responsável por um aumento de sorção. Este aumento variou de 205%, para a fibra de coco, a 57%, para a serragem, ou seja, uma diferença significativa. Estes resultados confirmaram que a sorção é dependente da área superficial disponível por grama de material sorvente e por isso é importante se controlar a granulometria durante a comparação de sorção entre as diferentes fibras. A faixa de 1,70 mm - 850 µm foi padronizada para os demais testes de sorção descritos neste trabalho.

Tabela 1. Sorção de óleo em 60 minutos para as fibras analisadas em diferentes faixas granulométricas

Fibras	> 3,35 mm (g /g sorvente)	1,70 mm - 850 µm (g /g sorvente)	Aumento na sorção
R. Folhosos	1,4	2,7	87%
B. Vegetal	1,9	4,6	138%
F. Coco	1,8	5,4	205%
Serragem	4,0	6,4	57%
Sisal	3,0	6,4	113%

3.2. Determinação das Condições de Ensaio e Avaliação da Capacidade das Fibras em Sorverem Óleo Bruto

A Tabela 2 mostra os resultados do teste de sorção para o sistema estático e agitado. Como esperado, a sorção do óleo aumenta ao longo do tempo, de 5 a 1440 minutos (24 horas) para todas as fibras. Comparando-se os dados das diferentes fibras, nota-se que a paina (87,97 g/g de fibra) apresentou uma capacidade de sorção muito superior às demais fibras. Os rejeitos folhosos apresentaram o menor rendimento, com 2,95 g/g de fibra, seguidos pela bucha vegetal e fibras de coco. O sisal e a serragem apresentaram boa capacidade de sorção, em torno de 6,6 g/g de fibra.

Para o sistema agitado, as mesmas características detalhadas acima foram encontradas, como: (i) sorção crescente para cada fibra ao longo do tempo; (ii) sorção de óleo no intervalo de tempo observado seguiu perfil geral de: Paina > Sisal > Serragem > Fibra de Coco > Bucha Vegetal > Rejeitos Folhosos, e (iii) Sorção de óleo bem maior para as fibras de paina.

Na Tabela 3 é mostrado o percentual de sorção atingido por diversos tempos em relação à sorção em 24 horas (1440 min) para os sistemas estático e dinâmico. Para o sistema estático, em apenas cinco minutos, todas as fibras superaram 72% da capacidade de sorção em 24 h, indicando que grande parte da sorção ocorre nos primeiros minutos. Todas as fibras atingiram no mínimo 90% da sua capacidade de sorção de 24 h em apenas 60 minutos, razão pela qual este tempo foi adotado como tempo padrão nos demais testes de sorção. De fato, a serragem, o sisal e a paina atingiram

um percentual de sorção muito alto, acima de 97%, nos primeiros 60 minutos. Esta tabela deixa claro que as fibras apresentam cinéticas de sorção diferenciadas.

Tabela 2. Sorção (g/g sorvente) das fibras vegetais a 20°C em sistema estático e dinâmico

Sistema	Tempo de sorção (min)	Rejeitos folhosos	Bucha vegetal	Fibras de coco	Serragem	Sisal	Paina
Estático	5	2,14	3,96	4,45	5,07	5,54	78,83
	20	2,34	3,97	4,52	5,18	5,63	79,15
	40	2,62	4,58	5,38	5,37	5,95	83,88
	60	2,67	4,59	5,41	6,37	6,39	85,24
	1440	2,95	5,07	5,76	6,52	6,57	87,97
Dinâmico	5	2,12	3,94	4,64	4,41	6,36	68,65
	20	2,23	4,15	4,76	4,53	6,47	72,91
	40	2,26	4,39	5,09	4,91	6,48	74,50
	60	2,50	4,43	5,12	5,67	6,54	77,58
	1440	4,00	6,71	7,42	5,97	6,55	85,83

Tabela 3. Percentual de sorção atingido por diversos tempos em relação a 24 horas – Sistemas estático e dinâmico

Sistema	Tempo de sorção (min)	Rejeitos folhosos	Bucha vegetal	Fibras de coco	Serragem	Sisal	Paina
Estático	5	72%	78%	77%	78%	84%	90%
	20	79%	78%	78%	79%	86%	90%
	40	89%	90%	93%	82%	90%	95%
	60	90%	90%	94%	98%	97%	97%
	1440 (24 h)	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Dinâmico	5	53%	59%	62%	74%	97%	80%
	20	56%	62%	64%	76%	99%	85%
	40	57%	65%	69%	82%	99%	87%
	60	62%	66%	69%	95%	100%	90%
	1440 (24 h)	100%	100%	100%	100%	100%	100%

O percentual sorvido pelas fibras no sistema dinâmico foi inferior em relação ao sistema estático, ou seja, a agitação do sistema dinâmico causou um retardo da sorção de óleo. Este comportamento só não foi observado para o sisal, provavelmente devido à sua elevada densidade ($1,26 \text{ g/cm}^3$) que influencia o ensaio de sorção que é baseado na flutuabilidade das fibras. No entanto, para uma comparação adequada da sorção de óleo entre os sistemas estático e dinâmico é preciso considerar uma combinação de vários fatores, como: grau de agitação, 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 de características de cada fibra e por essa razão, fica difícil a predição geral. As diferenças encontradas nas Tabela 2 e 3 entre os sistemas estático e dinâmico sugerem que a cinética de sorção é alterada pela agitação, que favorece o contato água/fibra e em geral retarda a sorção do óleo no sistema dinâmico.

Nem todo ganho de massa, mostrado na Tabela 2, se refere à sorção de óleo, uma vez que água também é incorporada na massa das fibras em um grau dependente de cada fibra. Uma estimativa da sorção de água pelas fibras pode ser obtida se comparando os resultados de sorção de óleo para o sistema estático e sistema seco. No entanto, destaca-se aqui que este método de comparação direta entre os sistemas seco (somente óleo) e estático (óleo e água) para avaliar a sorção de água irá dar resultados confiáveis somente se as cinéticas de sorção entre os dois sistemas forem similares. A sorção de óleo no sistema seco (g óleo/g sorvente) para as diferentes fibras e o teor de água estimado pelo método supracitado está apresentado na Tabela 4.

Pode ser notado que a sorção de água pode variar em uma grande faixa para as diversas fibras. Bucha vegetal e fibra de coco apresentaram maiores teores de água sorvido (42-51%), e sisal, rejeitos folhosos e serragem apresentaram valores intermediários (21-33%). Estes valores estão na mesma faixa em relação aos registrados por Pasila (2004) durante a separação do filme de óleo da mistura de água deionizada e óleo lubrificante ou combustível. Uma faixa de 30-56% e outra faixa de 23-53% de teor de água em filtros constituídos de fibras de linho e cânhamo, respectivamente. Além disso, a fibra de paina mostrou um teor de água sorvido extremamente baixo, entre 2,5-6,3% da massa total, se comparado com as outras fibras.

Mesmo descontando o teor de água sorvido, as fibras de paina chegam a sorver aproximadamente 85 g de óleo/g de fibra em 24h para qualquer sistema testado. Esta sorção é bem maior que a de outras fibras vegetais reportadas na literatura. Ribeiro et al (2003) encontrou 11,6 g de óleo/g de sorvente para a *salvinia sp.* ao testar um petróleo com 237 cP de viscosidade. Estes mesmos autores encontraram uma capacidade de sorção de 2,7 g de óleo/g de sorvente para o mesmo óleo em Peat Sorb® (turfa), um produto comercial canadense. Saito et al. (2003) encontraram um valor máximo de 16,5 g de óleo/g de sorvente para a casca de sugi. Witka-Jezewska et al. (2003) apresentaram valores de

sorção de diferentes autores e o maior valor encontrado foi de 40 g óleo/g de sorvente para o algodão. Apesar desta fibra ter excelente capacidade de sorção, o algodão é uma fibra têxtil nobre, de elevado custo.

O valor de sorção encontrado para a paina é até mesmo comparável aos materiais sintéticos. Wei et al. (2003) encontrou um valor máximo de 14 g de óleo cru/g de sorvente para os diferentes polipropilenos comerciais não tecidos. Witka-Jezewska et al. (2003) encontraram valores de sorção de 30 g de óleo/g de viscose rayon e 40 g de óleo/g de polipropileno, sendo que a espuma de poliuretano alcançou o mais alto valor de sorção, 100 g de óleo/g de sorvente.

Normalmente, a literatura aponta como a principal desvantagem de fibras vegetais a sorção de grande quantidade de água em relação ao óleo. No caso da paina, a quantidade de água sorvida em relação ao óleo foi baixa, de 4,1% para o sistema estático, no pior dos cenários. Sendo assim, a paina apresenta um excelente potencial como sorvente para o setor de petróleo, não só pela quantidade de óleo sorvido como também pela sua preferência pelo óleo, confirmado pelos testes de hidrofobicidade.

Tabela 4. Sorção no sistema seco e teor de água estimado por comparação com sistema estático

Fibra	Sorção de óleo (g óleo/g sorvente) no sistema seco (60 min)	Teor de água estimado
Rejeitos Folhosos	4,4	23-33%
Bucha Vegetal	2,3	50-51%
Fibra de Coco	3,1	42-45%
Serragem	4,6	21-27%
Sisal	4,4	27-31%
Paina	81,0	2,5-5,0%

3.3. Comparação de Sorção de Óleo Pelas Fibras em Água Doce e Salgada

Em geral, o uso de água marinha artificial nos testes de sorção não comprometeu a capacidade de sorção das diversas fibras tanto no sistema estático como no sistema dinâmico (Figura 1). 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 a mesma eficiência de remoção de óleo. A paina mostrou melhor capacidade de sorção em todas as situações em comparação com as outras fibras.

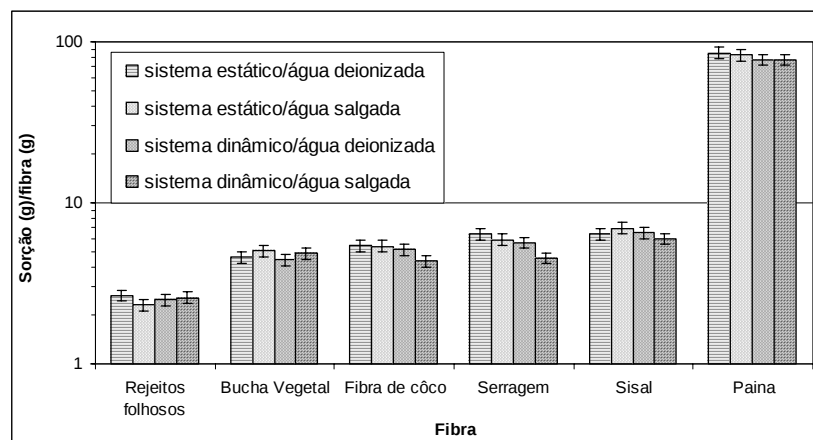


Figura 1. Comparação de sorção entre as águas deionizada e salgada artificialmente

3.4. Flutuabilidade e Hidrofobicidade

Os resultados de flutuabilidade estão mostrados na Tabela 5. A paina, com 100% de flutuabilidade, mostrou um comportamento oposto em relação ao sisal, onde 0% de flutuabilidade em todas as condições experimentais simuladas foi encontrado.

Os resultados para o sistema dinâmico foram mais altos em relação ao sistema estático e, como esperado, todas as fibras mostraram maior flutuabilidade em condições marinhas em relação à água deionizada (0,998 g/cm³), devido ao aumento de densidade na água marinha (1,024 g/cm³) pela presença dos sais dissolvidos. A fibra de coco, com densidade de 1,01 g/cm³, foi bastante beneficiada pelo pequeno acréscimo na densidade da água marinha se comparada com a água deionizada, mostrando um acréscimo de 20,6% para 90,0% e de 49,9% para 98,0% nos sistemas estático e dinâmico, respectivamente.

A Tabela 5 mostra claramente que o sisal e a serragem não podem ser empregados em derramamentos em corpos hídricos devido à sua baixa flutuabilidade. De fato, o sisal afundou durante os ensaios de sorção de 24 horas, tanto no sistema estático quanto no dinâmico, evidenciando não ser adequado como sorvente para o setor do petróleo nestas condições. Os rejeitos folhosos e as fibras de coco podem ser empregados apenas em ambientes marinhos.

O baixo teor de água sorvido pela paina pode, em parte ser explicado pela sua alta hidrofobicidade. Na Tabela 5, que mostra a hidrofobicidade em água deionizada e marinha das fibras, nota-se que a paina obteve um valor acima de

97%, juntamente com os rejeitos folhosos. Um comportamento oposto foi apresentado pelo sisal e pela bucha vegetal com 0,0% de hidrofobicidade, enquanto a serragem e a fibra de coco mostraram valores intermediários. A hidrofobicidade em água salgada foi maior em relação à água deionizada para todas as fibras, especialmente no que tange à fibra de coco saltando de 38,6% (deionizada) para 77,7% (salgada), devido à mudança das características físico-químicas causadas no meio aquoso em função de diversos íons dos sais dissolvidos.

Tabela 5. Flutuabilidade e Hidrofobicidade de Várias Fibras em Diversas Condições Experimentais

	Flutuabilidade				Hidrofobicidade	
	Estático		Dinâmico		Deionizada	Salgada
	Deionizada	Salgada	Deionizada	Salgada		
Rejeitos Folhosos	65,5%	75,3%	85,6%	95,0%	86,9%	99,3%
Bucha Vegetal	3,4%	3,9%	3,4%	8,1%	0,0%	0,0%
Fibra de coco	20,6%	90,0%	49,9%	98,0%	38,6%	77,7%
Serragem	12,4%	16,0%	17,7%	22,9%	56,5%	87,9%
Sisal	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Paina	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	97,6%	98,9%

4. Conclusões

O uso de diferentes fibras vegetais como materiais sorventes de óleo cru foi investigado em várias condições experimentais simuladas, com água deionizada e marinha, com ou sem agitação.

A capacidade de sorção das fibras seguiu a tendência geral: Paina > Sisal e Serragem > Fibras de coco > Bucha Vegetal > Rejeitos folhosos, e a capacidade de sorção pode ser aumentada pela redução da granulometria.

A paina mostrou uma rápida sorção de óleo e uma elevada capacidade de sorção de aproximadamente 85 g oil/g sorbent, elevado grau de hidrofobicidade e baixa sorção de água.

Vários dos sistemas fibrosos de baixo custo investigados podem ser usados em ambientes secos, com eficiências variáveis em sorção. Por outro lado, testes de flutuabilidade indicaram a inabilidade do sisal, da bucha vegetal e da serragem de ser utilizado em qualquer situação de derramamento de óleo em corpos hídricos, enquanto os rejeitos folhosos e a fibra de coco podem ser adequadas para ambientes marinhos.

5. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o PRH-24/ANP/MCT, Repar/Petrobras, Driana buchas, Embrapa and Cisaf-Nutrinuts.

6. Referências

- BUCAS, G., SALIOT, A. Sea transport of animal and vegetable oils and its environmental consequences. *Marine Pollution Bulletin*, v. 44, n. 12, p. 1388-1396, 2002.
- PASILA, A. A biological oil adsorption filter. *Marine Pollution Bulletin*, v. 49, n. 11-12, p. 1006-1012, 2004.
- REED, M., JOHANSEN, O., BRANDVIK, P.J., DALING, P., LEWIS, A., FIOCCO, R., MACKAY, D., PRENTKI, R. Oil spill modeling towards the close of the 20th century: Overview of the state of the art. *Spill Science & Technology Bulletin*, v. 5, n. 1, p. 3-16, 1999.
- RIBEIRO, T.H., RUBIO, J., SMITH, R.W. 2003. A dried hydrophobic aquaphyte as an oil filter for oil/water emulsions. *Spill Science & Technology Bulletin*, v. 8, n. 5-6, p. 483-489, 2003.
- RIBEIRO, T.H., RUBIO, J., SMITH, R.W., RUBIO, J. Sorption of oils by a nonliving biomass of a *Salvinia* sp. *Environmental Science and Technology*, v. 34, n. 24, p. 5201-5205, 2000.
- SAITO, M., ISHII, N., OGURA, S., MAEMURA, S., SUZUKI, H. Development and water tank tests of Sugi bark sorbent (SBS). *Spill Science & Technology Bulletin*, v. 8, n. 5-6, p. 475-482, 2003.
- WEBER, W.J., MCGINLEY, P.M., KATZ, L.E. Sorption phenomena in subsurface systems - Concepts, models and effects on contaminant fate and transport. *Water Research*, v. 25, n. 5, p. 499-528, 1991.
- 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.