

## DESEMPENHO DE BIOMASSAS NA ADSORÇÃO DE HIDROCARBONETOS LEVES EM EFLUENTES AQUOSOS

Elba Gomes dos Santos, Odelsia Leonor Sanchez de Alsina e Flávio Luiz Honorato da Silva\*

Unidade Acadêmica de Engenharia Química, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Av. Aprígio Veloso, 882, 58109-970 Campina Grande – PB, Brasil

Recebido em 3/1/06; aceito em 31/5/06; publicado na web em 24/10/06

PERFORMANCE OF BIOMASSES IN THE ADSORPTION OF SIMPLE HYDROCARBONS IN AQUEOUS EFFLUENTS. Removal of hydrocarbons from aqueous effluents using biosorbents was investigated. The effluent was simulated by a dispersion of gasoline (simple hydrocarbons) in water. Corn-cob, wood powder, coconut mesocarp and sugar-cane bagasse were used as adsorbents and their performance verified by means of batch experiments performed in an agitated vessel. The influence of input variables such as hydrocarbon concentration, mass of biomass and agitation level on the adsorbents' capacity was studied by means of factorial design. The results indicated that, among the materials studied, coconut mesocarp and sugar-cane bagasse can be considered promising biomasses for treating aqueous effluents contaminated by hydrocarbons.

Keywords: factorial design; petroleum; sugar-cane bagasse.

### INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais mais intensamente utilizados. É fundamental para a existência e manutenção da vida e, para isso, deve estar presente no ambiente em quantidade e qualidade adequadas. O homem tem usado a água não só para suprir suas necessidades metabólicas, mas também para outros fins, como abastecimento industrial, irrigação, geração de energia, navegação, diluição de despejos e exploração e produção de petróleo<sup>1</sup>.

Atualmente existe, em todo o mundo, uma grande preocupação com a água, não só por causa de sua escassez em algumas regiões, mas também por causa de processos constantes de poluição, principalmente em países ditos desenvolvidos.

Os produtos orgânicos provenientes dos processos de extração e produção de petróleo são bastante prejudiciais ao homem e ao meio ambiente, pois causam sérios problemas de poluição à vida aquática em rios e lagos; por isso, as empresas de petróleo já procuram reduzir ao máximo este impacto ao meio ambiente.

Mesmo em pequenas quantidades, os contaminantes orgânicos são difíceis de serem removidos, pois são estáveis à luz, ao calor e biologicamente não degradáveis; diminuem a área de contato entre a superfície da água e o ar atmosférico impedindo, assim, a transferência de oxigênio da atmosfera para a água, além de apresentarem problemas estéticos, produzindo a rejeição do efluente<sup>2</sup>.

Por isso, vários processos de separação já são empregados pelas indústrias de produção de petróleo e refinarias. Dentre os processos de separação utilizados, a adsorção tem despertado bastante o interesse de pesquisadores e técnicos, por ser um processo eficaz para tratamento de efluentes orgânicos e metais pesados, utilizando materiais sintéticos, como as zeólitas<sup>3</sup>.

Vários materiais adsorventes têm sido utilizados para a adsorção de contaminantes orgânicos e metais pesados, provenientes do petróleo. O carvão ativo tem sido um dos mais empregados, principalmente por apresentar grande capacidade de adsorção. Possui, contudo, um elevado custo industrial, abrindo espaço para novas pesquisas<sup>2,4,5</sup>.

A fim de reduzir o alto custo dos processos de separação por adsorção, principalmente devido ao elevado valor de alguns

adsorventes, vários métodos alternativos têm sido estudados; entre estes, pode-se citar a bioadsorção.

A bioadsorção é parte importante deste trabalho, uma vez que a utilização de algumas biomassas, como sabugo de milho, serragem de madeira, mesocarpo do coco e bagaço de cana-de-açúcar estão no centro desta pesquisa para remoção de contaminantes orgânicos.

Biomassa é um termo utilizado para representar uma série de materiais orgânicos, como os resíduos agrícolas, que podem ser direta ou indiretamente empregados para a geração de combustíveis, como etanol, metanol, biogás, carvão vegetal e óleos etc<sup>6</sup>.

Pretende-se indicar qual ou quais destes materiais utilizados como adsorventes terão melhor aplicação no processo de adsorção para tratamento de efluentes contaminados com compostos orgânicos provenientes das etapas de extração e produção de petróleo. Para cada litro de petróleo extraído, produz-se 5 L de água, tornando-se de vital importância sua recuperação, para reuso na própria indústria de petróleo<sup>7</sup>. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo verificar os desempenhos das quatro biomassas de baixo custo (sabugo de milho, serragem de madeira, mesocarpo do coco e bagaço de cana), resíduos bastante encontrados na região Nordeste do Brasil, buscando verificar qual apresenta melhor capacidade de adsorção de hidrocarbonetos leves. Com essa finalidade, foi elaborado um planejamento fatorial para verificar os efeitos das variáveis de entrada sobre a capacidade de adsorção das biomassas, de maneira organizada e com um número mínimo de experimentos.

### PARTE EXPERIMENTAL

#### Materiais e métodos

Neste trabalho, para simular o efluente contaminado com produtos orgânicos, foi utilizada gasolina comercial do tipo C (hidrocarbonetos leves - normalmente cadeias de 4 a 12 átomos de carbono), com 23% de álcool etílico anidro em sua composição, dispersa em água<sup>7</sup>.

As biomassas selecionadas para o desenvolvimento deste trabalho foram sabugo de milho, serragem de madeira, mesocarpo do coco e o bagaço de cana-de-açúcar. Estas foram testadas de duas maneiras: em sua forma natural seca e com um pré-tratamento áci-

\*e-mail: flavioluizh@yahoo.com.br

do. As biomassas foram trituradas e peneiradas para obtenção de partículas com tamanhos entre 1,00 a 2,00 mm, granulometria adequada para os testes propostos, conforme Tsai *et al.*<sup>8</sup>.

Antes da utilização, as biomassas foram lavadas com água destilada suficiente para encharcar o material, em um funil de separação, sob agitação manual por 10 min, segundo a metodologia proposta por Petroni *et al.*<sup>9</sup>.

Para utilização da biomassa na forma natural, após a lavagem, esta foi seca à temperatura ambiente. Já a biomassa com o pré-tratamento foi obtida mediante lavagem com uma solução de HCl 0,5 mol L<sup>-1</sup> em um funil de separação. Em seguida, esta foi seca em estufa, à 70 °C, por 24 h<sup>9,10</sup>.

Após obter a granulometria desejada, as biomassas foram acondicionadas em sacos plásticos até seu uso. Para obtenção dos dados experimentais de adsorção, os experimentos foram realizados em um reator agitado com controle da rotação. Proporções variáveis de gasolina eram dispersas na água, e as quantidades prefixadas de biomassa foram colocadas em um Becker de 1000 mL e submetidas à agitação, definida de acordo com o planejamento experimental aplicado.

Resultados anteriores<sup>7</sup> obtidos a partir das curvas cinéticas e isotermas de adsorção mostraram que nas condições do presente trabalho, 1 h de agitação e proporções emulsão (hidrocarbonetos/água)/biomassa utilizadas, o equilíbrio de saturação era atingido para todos os bioadsorventes estudados.

Após 1 h de agitação, a emulsão hidrocarbonetos leves (gasolina)/água foi filtrada em filtro de porcelana, acoplado a um kitassato, com o auxílio de bomba a vácuo. Logo em seguida, a emulsão final foi transferida para uma proveta e, após a separação das fases, era medido o volume da fase orgânica. A quantidade de hidrocarbonetos retida pela biomassa foi determinada por diferença (quantidade inicial de hidrocarbonetos – quantidade final de hidrocarbonetos). Paralelamente a estes experimentos foram realizados testes em branco, com quantidades de hidrocarbonetos leves (gasolina) dispersos em água, sem material adsorvente, com a finalidade de verificar a confiabilidade do método aplicado. Estes mostraram

que, dentro das condições laboratoriais aplicadas, as perdas por evaporação podiam ser consideradas desprezíveis<sup>7</sup>.

Tendo como finalidade obter um estudo mais abrangente das variáveis de entrada sobre a capacidade de adsorção das biomassas, de maneira organizada e com um número mínimo de experimentos, foi elaborado um planejamento experimental fatorial. As variáveis de entrada estudadas para a seleção das biomassas foram: concentração inicial do produto orgânico (hidrocarbonetos leves), quantidade de biomassa utilizada e velocidade de agitação do sistema. Como variável resposta, tinha-se o valor da quantidade adsorvida, ou seja, quanto de hidrocarbonetos leves cada biomassa foi capaz de reter.

O planejamento fatorial utilizado foi do tipo 2<sup>3</sup> com a realização de três experimentos no ponto central, de forma a garantir a reprodutibilidade dos dados experimentais, uma vez que as repetições fidedignas dos experimentos permitem a obtenção de uma estimativa da variabilidade em função do erro experimental. Desta forma, para cada biomassa foram realizados 11 experimentos.

A Tabela 1 mostra os valores reais para a concentração inicial de hidrocarbonetos leves, a quantidade de biomassa e a rotação do sistema com os níveis dos fatores utilizados nos experimentos, para obtenção dos dados para sabugo de milho, serragem de madeira, mesocarpo do coco e bagaço de cana, respectivamente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As capacidades de adsorção na saturação obtidas nas condições experimentais utilizadas são apresentadas na Tabela 2 (matriz de planejamento fatorial 2<sup>3</sup>). Como se observa, pontualmente, os melhores resultados foram obtidos com mesocarpo do coco (13,0 mL g<sup>-1</sup>) e bagaço de cana (12,3 mL g<sup>-1</sup>), nas condições de operação das variáveis de entrada em 20% de concentração inicial de hidrocarbonetos na dispersão, 5 g de biomassa e 1000 rpm de rotação, ou seja, no ensaio 6 da matriz de planejamento.

Para melhor avaliação dos efeitos das variáveis operacionais, os resultados das capacidades de adsorção obtidos para os diferentes

**Tabela 1.** Valores reais e os níveis codificados dos fatores estudados no planejamento fatorial 2<sup>3</sup> para dispersões aquosas de hidrocarbonetos leves/água para as biomassas estudadas

Variáveis de entrada	Sabugo de milho e serragem de madeira			Mesocarpo do coco e bagaço de cana		
	Nível (-1)	Nível (0)	Nível (+1)	Nível (-1)	Nível (0)	Nível (+1)
Concentração inicial de hidrocarbonetos na dispersão-Cg (%)	10,0	15,0	20,0	10,0	15,0	20,0
Quantidade de Biomassa-Qb (g)	10,0	20,0	30,0	5,0	10,0	15,0
Rotação-R(rpm)	200	400	600	600	800	1000

**Tabela 2.** Capacidades de adsorção obtidas experimentalmente para o planejamento fatorial 2<sup>3</sup> nas condições de entrada (níveis codificados)

Variáveis de entrada			Biomassas estudadas							
Cg	Qb	R	Sabugo de milho		Seragem de madeira		Mesocarpo do coco		Bagaço de cana	
			Sem tratamento	Com tratamento	Sem tratamento	Com tratamento	Sem tratamento	Com tratamento	Sem tratamento	Com tratamento
-1	-1	-1	4,0	3,0	3,5	2,0	8,0	7,0	6,2	6,5
+1	-1	-1	8,0	8,5	9,0	8,0	12,0	12,0	10,0	12,0
-1	+1	-1	1,6	1,5	1,6	1,0	3,3	3,2	3,0	2,8
+1	+1	-1	3,1	3,0	3,3	3,0	6,6	6,0	6,0	6,0
-1	-1	+1	4,8	4,0	3,5	3,5	8,2	7,6	7,9	7,0
+1	-1	+1	9,0	8,4	9,1	9,0	12,4	13,0	12,3	11,8
-1	+1	+1	1,6	1,0	1,6	1,0	3,3	3,3	3,0	3,0
+1	+1	+1	3,2	3,0	3,3	3,0	6,5	6,1	6,3	6,2
0	0	0	3,6	3,5	3,7	3,5	7,4	7,3	7,2	7,2
0	0	0	3,6	3,5	3,6	3,5	7,4	7,3	7,3	7,0
0	0	0	3,6	3,6	3,6	3,6	7,4	7,3	7,2	7,2

adsorventes foram analisados mediante o método de planejamento experimental fatorial utilizando um programa estatístico (Stastística, versão 5.0). Os valores foram correlacionados através de modelos empíricos codificados, de modo a dispor de equações preditivas para as capacidades de adsorção em função das variáveis de entrada. Através da regressão dos dados experimentais obtidos, foi possível obter um modelo matemático codificado para os sistemas experimentais analisados, referentes às biomassas estudadas.

Os modelos matemáticos para as biomassas podem ser representados por um modelo matemático empírico, como mostra a Equação 1.

$$q = A + A1.Cg + A2.Qb + A3.R + A4.Cg.Qb + A5.Cg.R + A6.Qb.R \quad (1)$$

onde: q = capacidade de adsorção de cada biomassa; Cg = concentração inicial de hidrocarbonetos leves; Qb = quantidade de biomassa utilizada e, R = rotação utilizada do sistema.

Os valores dos coeficientes A, A1, A2, A3, A4, A5 e A6 estão na Tabela 3 para cada biomassa. Os valores em negrito, ilustrados na Tabela 3, representam os valores estatisticamente significativos em nível de 95% de confiança, para os sistemas experimentais estudados. Como observado na Tabela 3, a variável rotação, parâmetro A3, em geral, não apresentou influência significativa sobre os valores da capacidade de adsorção para as biomassas estudadas. Este resultado era esperado, já que os valores da capacidade de adsorção indicam apenas quanto de soluto, ou seja, de hidrocarbonetos leves, uma determinada quantidade de biomassa pode reter no equilíbrio. Mesmo sem apresentar influência sobre a capacidade de adsorção das biomassas utilizadas, a variável rotação pode apresentar efeitos cinéticos. Neste trabalho foram utilizados tempos que, de acordo com estudos anteriores<sup>7</sup>, eram suficientes para se atingir o equilíbrio; por este motivo, a velocidade de rotação não deveria apresentar influência sobre a capacidade de adsorção, o que foi confirmado pela análise de significância estatística.

Os valores obtidos para a análise de variância do modelo (ANOVA), para cada biomassa utilizada, tanto na forma natural

como com o pré-tratamento, estão listados na Tabela 4. Uma análise de significância estatística dos valores observados na Tabela 4 é um fator importante, uma vez que os dados experimentais obtidos são utilizados para produzir um modelo empírico, através da regressão. Pelos resultados na Tabela 4, verifica-se que todas as biomassas apresentaram elevados valores de % de variância explicada, ou seja, menor quantidade de resíduos (erros).

O teste F foi utilizado para investigar se o modelo proposto, Equação 1, apresenta evidência estatística suficiente da relação dependente entre as variáveis de entrada e a resposta<sup>11,12</sup>. O valor do teste F calculado deve ser maior que o valor do teste F tabelado para que o modelo seja significativo, ou seja, válido estatisticamente, como foi o caso dos valores apresentados na Tabela 4, para todas as biomassas estudadas. Estes valores mostram que com nível de 95% de confiança, os modelos codificados de 1ª ordem são estatisticamente significativos<sup>11,12</sup>.

A Figura 1 ilustra os valores calculados para a capacidade de adsorção, utilizando as equações empíricas do modelo matemático, para cada biomassa empregada. Pode-se observar que a capacidade de adsorção do sabugo de milho e da serragem de madeira, tanto na forma natural como com o pré-tratamento, foram praticamente equivalentes, em torno de 8,0 mL de hidrocarbonetos leves/g de biomassa utilizada. Já com relação aos valores encontrados para o mesocarpo do coco e o bagaço de cana, com e sem pré-tratamento, foram em média de 12,2 e 11,5 mL g<sup>-1</sup>, respectivamente. Observa-se também que os valores preditos apresentam boa concordância com os valores experimentais (Tabela 2), confirmando assim a validade do modelo empírico proposto.

#### Efeito do pré-tratamento ácido para os adsorventes selecionados

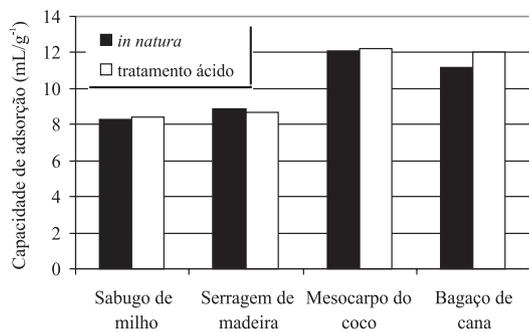
Para verificar se o pré-tratamento ácido apresentava alguma influência sobre os valores da capacidade de adsorção, foi utilizado um planejamento experimental do tipo 2<sup>4</sup> sem repetições no ponto central, sendo então realizados 16 experimentos.

**Tabela 3.** Valores dos coeficientes dos modelos empíricos, Equação 1, para predição da capacidade de adsorção das biomassas

Biomassas	Tratamento	A	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Sabugo de milho	Sem tratamento	<b>4,180</b>	<b>1,600</b>	- <b>1,840</b>	0,196	- 0,646	- 0,211	0,460
	Pré-tratamento	<b>3,910</b>	<b>1,670</b>	- <b>1,920</b>	0,050	- <b>0,800</b>	- 0,075	- 0,170
Serragem de madeira	Sem tratamento	<b>4,160</b>	<b>1,790</b>	- <b>1,910</b>	0,012	- <b>0,980</b>	0,012	- 0,010
	Pré-tratamento	<b>3,730</b>	<b>1,950</b>	- <b>1,810</b>	<b>0,310</b>	- <b>0,940</b>	0,062	- <b>0,310</b>
Mesocarpo do coco	Sem tratamento	<b>7,500</b>	<b>1,850</b>	- <b>2,610</b>	0,061	- <b>0,203</b>	0,02	- 0,080
	Pré-tratamento	<b>7,088</b>	<b>1,990</b>	- <b>2,610</b>	<b>0,221</b>	- <b>0,604</b>	<b>0,06</b>	- <b>0,180</b>
Bagaço de cana	Sem tratamento	<b>6,940</b>	<b>1,812</b>	- <b>2,260</b>	<b>0,537</b>	- <b>0,237</b>	0,112	- <b>0,460</b>
	Pré-tratamento	<b>6,970</b>	<b>2,080</b>	- <b>2,412</b>	0,087	- <b>0,487</b>	0,087	- 0,010

**Tabela 4.** Análise de variância (ANOVA) do modelo empírico para a capacidade de adsorção das biomassas

Biomassas	Tratamento	% de variância explicada	Coefficiente de correlação	Teste F calculado(Fc)	Razão entre Fcalculado Ftabelado
Sabugo de milho	Sem tratamento	94,284	0,971	11,196	1,812
	Pré-tratamento	98,406	0,992	42,068	6,829
Serragem de madeira	Sem tratamento	98,208	0,991	36,370	5,904
	Pré-tratamento	99,610	0,998	207,660	33,712
Mesocarpo do coco	Sem tratamento	99,980	0,999	1257,190	204,090
	Pré-tratamento	99,980	0,999	4761,240	772,930
Bagaço de cana	Sem tratamento	99,600	0,998	132,930	21,580
	Pré-tratamento	99,980	0,999	277,110	44,986



**Figura 1.** Valores de capacidade de adsorção para cada biomassa na forma natural e com pré-tratamento

Para este novo planejamento foi necessário introduzir uma nova variável de entrada, além das já utilizadas: concentração inicial de gasolina no efluente (Cg), quantidade de biomassa utilizada (Qb), rotação do sistema (R) e biomassa com e sem tratamento ácido (Tr). A variável resposta, contudo, permaneceu a mesma, ou seja, o valor da capacidade de adsorção para cada adsorvente, com e sem pré-tratamento ácido empregado.

As equações empíricas do modelo matemático obtido através da regressão dos dados experimentais foram da forma como apresentado na Equação 2.

$$q = B + B1.Cg + B2.Qb + B3.R + B4.Tr + B5.Cg.Qb + B6.Cg.R + B7.Cg.Tr + B8.Qb.R + B9.Qb.Tr + B10.R.Tr \quad (2)$$

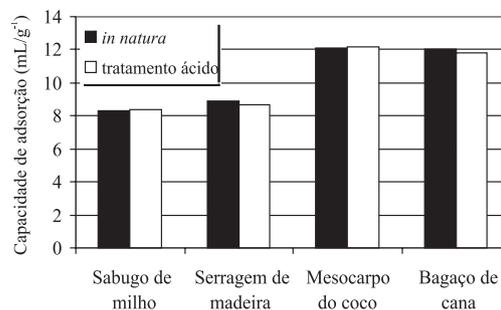
Os coeficientes B a B10, estão mostrados na Tabela 5, para cada biomassa. Os valores em negrito representam os valores estatisticamente significativos em nível de 95% de confiança, para os sistemas experimentais estudados.

**Tabela 5.** Valores dos coeficientes das equações empíricas para cada biomassa estudada. Efeito do tratamento ácido

	Biomassas			
	Sabugo de milho	Serragem de madeira	Mesocarpo do coco	Bagaço de cana
B	<b>4,230</b>	<b>4,086</b>	<b>7,411</b>	<b>6,875</b>
B1	<b>1,539</b>	<b>1,866</b>	<b>1,921</b>	<b>1,950</b>
B2	<b>- 1,980</b>	<b>- 1,864</b>	<b>- 2,614</b>	<b>- 2,337</b>
B3	0,148	0,162	0,141	0,312
B4	- 0,181	<b>- 0,274</b>	- 0,125	-0,038
B5	<b>- 0,723</b>	<b>- 0,959</b>	<b>- 0,404</b>	<b>- 0,362</b>
B6	- 0,018	- 0,025	-0,041	0,012
B7	0,135	0,071	0,075	0,138
B8	- 0,189	- 0,162	- 0,134	- 0,225
B9	0,056	0,051	0,000	- 0,075
B10	- 0,098	0,150	0,080	- 0,225

A Figura 2 ilustra os valores da capacidade de adsorção para cada biomassa, calculada a partir do modelo matemático codificado apresentado pela Equação 2. Os resultados confirmaram os resultados anteriores, mostrando que o sabugo de milho e a serragem de madeira não apresentaram variações dos valores obtidos para a capacidade de adsorção, estando estes valores em torno de 8,0 mL de hidrocarbonetos leves por g de biomassa, tanto na forma natural como com o pré-tratamento ácido aplicado.

O bagaço de cana apresentou valores de 11,0 mL g<sup>-1</sup> quando testado em sua forma sem tratamento e com o pré-tratamento, enquanto para o mesocarpo do coco o valor com pré-tratamento ficou



**Figura 2.** Comparação entre os valores de capacidade de adsorção para cada biomassa na forma natural e com pré-tratamento obtidos da Equação 2. (planejamento fatorial 2<sup>4</sup> sem repetições no ponto central)

em 12,0 mL g<sup>-1</sup>, pouco acima do sem tratamento (*in natura*), que foi de 11,5 mL g<sup>-1</sup>.

Verifica-se também, na Figura 2, que o tratamento ácido aplicado não apresentou influência significativa sobre os valores da capacidade de adsorção para as biomassas estudadas, quando comparadas entre si, na sua forma natural e com o pré-tratamento, confirmando que os modelos empíricos encontrados, além de estatisticamente significativos, são bem preditivos.

Khan *et al.*<sup>13</sup> estudaram a remoção de óleos e graxas nos efluentes de postos de gasolina (mistura de óleos de motores, lubrificantes, perdas de gasolina, aditivos fluidos hidráulicos), que contaminam os deságües pluviais, utilizando-se de diferentes biomassas, com um efluente sintético obtido mediante a injeção de óleo de motor em água. As capacidades de adsorção obtidas por esses autores, 58 mg g<sup>-1</sup> para a casca de coco e 19 mg g<sup>-1</sup> para o bagaço foram sensivelmente inferiores às do presente trabalho. Melhores resultados foram obtidos com a *Latifolia typha* (fibra cattail) 1107 mg g<sup>-1</sup> e *Salvinia sp.* (planta aquática) 827 mg g<sup>-1</sup>. Os valores de capacidade de adsorção por biomassas muito menores que os encontrados no presente trabalho podem ser atribuídos ao fato de que o efluente sintético, utilizado pelos pesquisadores, era constituído por hidrocarbonetos mais pesados e insaturados, quando comparados com os hidrocarbonetos leves utilizados no presente trabalho.

Finalmente deve-se considerar que, se se comparar com as capacidades de adsorção de adsorventes comerciais, carvão ativo, polipropileno, borracha, também utilizados na remoção de óleos e graxas, as biomassas, aqui estudadas, mostram performance inferior<sup>7</sup>. Entretanto, seu custo é geralmente apenas o de transporte, além do benefício de adicionar valor a materiais considerados resíduos, usualmente despejados no ambiente.

Para as biomassas estudadas com e sem o pré-tratamento ácido, com os resultados obtidos e analisados nos testes cinéticos e de equilíbrio<sup>7</sup> e pela aplicação do planejamento fatorial experimental, pode-se concluir que o mesocarpo do coco foi a biomassa que apresentou maior valor de capacidade de adsorção, ou seja, maior quantidade de compostos orgânicos (hidrocarbonetos leves) removidos da emulsão por g de biomassa utilizada.

Outro fato considerado, também, neste trabalho, foi que o bagaço de cana sem pré-tratamento ácido apresentou valores elevados de capacidade de adsorção e, devido à possibilidade do bagaço de cana ser encontrado em grande quantidade na região sucroalcooleira do Brasil, decidiu-se também utilizar este material como bioadsorvente para futuros estudos de cinética de adsorção em coluna de leito fixo.

Observa-se que não houve grande diferença na capacidade de adsorção com pré-tratamento ácido, sendo interessante ser enfatizado, pois é um dado economicamente importante, ou seja, redução de custos no processo.

**AGRADECIMENTOS**

À ANP (Agência Nacional de Petróleo) e ao PRH-25 (Programa de Recursos Humanos) pelo suporte financeiro.

**REFERÊNCIAS**

1. Braga, B.; Hespagnol, I.; Conejo, J. G. L.; Barros, M. T. L.; Spencer, M.; Porto, M.; Nucci, N.; Juliano, N.; Eiger, S.; Introdução à Engenharia Ambiental, 2ª ed., Ed. Prentice Hall: São Paulo, 2005.
2. Dallago, R. M.; Smaniotto, A.; *Quim. Nova* **2005**, 28, 433.
3. Jimenez, R. S.; Dal Bosco, S. M.; Carvalho, W. A.; *Quim. Nova* **2004**, 27, 734.
4. Basílio, M. S.; Friese, K.; Lena, J. C.; Naline Jr., H. A.; Roeser, H. M. P.; *Quim. Nova* **2005**, 28, 822.
5. El-Geundi, M. S.; *Adsorpt. Sci. Technol.*, **1997**, 10, 777.
6. Mckendry, P.; *Bioresour. Technol.*, **2002**, 1, 39.
7. Santos, E. G.; *Tese de Doutorado*, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil, 2005.
8. Tsai, W. T.; Chang, C. Y.; Wang, S. Y.; Chang, C. F.; Chien, S. F.; Sun, H. F.; *Resources Conservation and Recycling* **2000**, 32, 43.
9. Petroni, S. L. G.; Pires, M. A. F.; Munita, C. S.; *Quim. Nova* **2000**, 23, 477.
10. Senthilkumaar, S.; Bharathi, S.; Nithyanandhi, D.; Subburam, V.; *Bioresour. Technol.*, **2000**, 75, 163.
11. Barros Neto, B.; Scarminio, I. S.; Bruns, R. E.; *Como Fazer Experimentos*, Ed. da Unicamp: Campinas, 1996.
12. Box, G. E. P.; Hunter, W. G.; Hunter, J. S.; *Statistics for Experimenters*, John Wiley & Sons: New York, 1978.
13. Khan, E.; Virojnagud, W.; Ratpukdi, T.; *Chemosphere* **2004**, 57, 681.