



ESCOAMENTO MULTIFÁSICO E O PROCESSO DE REMOÇÃO DO ÓLEO DA ÁGUA EM MEIO POROSO: UM ESTUDO EXPERIMENTAL E NUMÉRICO, UTILIZANDO CFD

Bianca Thamires Alexandre Silva¹; José Jefferson da Silva Nascimento²; Paula Rayane Lopes de Andrade³; Gracimário Bezerra da Silva⁴; Lázaro Ricarte Albuquerque⁵

¹ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica – biancathamires1@gmail.com.br

² Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia dos Materiais – jefferson@dema.ufcg.edu.br

³ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica – paularayanne15@hotmail.com

⁴ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica – gracimario.bezerra@gmail.com

⁵ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica – eng_lazaro UFCG@hotmail.com

RESUMO

As argilas esmectíticas podem passar por tratamentos, para que estas adquiram a capacidade de reter compostos orgânicos, a preferência ao uso das argilas bentoníticas para a obtenção de argilas com maior caráter hidrofóbico, argilas organofílicas, se dá pela elevada capacidade de troca catiônica destas. No trabalho, as argilas tratadas foram utilizadas como adsorventes para o tratamento de efluentes produzidos com o objetivo de reduzir a quantidade de óleo na água, e utilizar o software CFX para através de análises numéricas simular o problema em questão, podendo oferecer uma nova opção para enfrentarem-se estes desafios. As amostras tratadas e a amostra natural foram caracterizadas e utilizadas para testes. Os resultados das caracterizações indicam que as amostras foram organofilizadas, os testes evidenciaram o potencial de adsorção destas nos solventes orgânicos, destacando-se as preparadas via dispersão. Os efluentes foram analisados, apresentado redução do teor de óleos e graxas, e, a simulação apresentou redução da fração de óleo na saída. Assim, as argilas organofílicas apresentam uma alternativa para o processo de separação óleo/água, pelo seu baixo valor agregado e a simulação computacional aparece como uma nova opção para enfrentarem-se estes desafios.

Palavras-chaves: argila organofílica, simulação, tratamento.

1. INTRODUÇÃO

O descarte das águas oleosas, provenientes da extração do petróleo, é um dos grandes problemas enfrentados pela indústria petrolífera, uma vez que para o descarte e/ou reuso desta água são necessários tratamentos para a

melhoria de sua qualidade. As legislações ambientais cada vez mais rigorosas obrigam as indústrias a limparem toda esta água desperdiçada e de acordo com o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), Resolução nº 393/07, o teor de óleos e graxas em efluentes não deve exceder 29 mg/L.



Nesse contexto, estudos experimentais vêm sendo realizados com o intuito de desenvolver processos de separação economicamente viáveis e eficientes. Para remediar esse problema tem-se dado atenção ao estudo de argilas organofílicas utilizadas como sorventes. As argilas organofílicas são obtidas a partir de argilas esmectíticas e sais quaternários de amônio, possuindo ao menos uma cadeia com doze ou mais carbonos.

Para o tratamento dos efluentes contaminados, estudos vêm sendo realizados com o intuito de desenvolver processos de separação economicamente viáveis e eficientes. Para remediar esse problema tem-se dado atenção ao estudo de argilas [SANTOS, 1992].

No caso de estudos numéricos, o escoamento dos fluidos em um meio poroso deve ser considerado sob adequadas condições de contorno, condições iniciais, propriedades dos fluidos, permeabilidade do meio, vazão e outros fatores físicos que interfiram no processo de separação água/óleo.

Neste sentido, a dinâmica dos fluidos computacional, é uma ferramenta utilizada para simular o comportamento de sistemas envolvendo o escoamento de fluidos, a transferência de calor e outros processos físicos relacionados. A solução é obtida através da resolução de equações de conservação, que descrevem os processos de transferência de momento, massa e calor, sendo estas resolvidas na sua forma discretizada, por método iterativo, para dadas condições de contorno. O software comercial CFX 14 DO SISTEMA ANSYS-USA, utiliza o método dos volumes finitos [KOSTETZER, 2007], para a simulação numérica. Nesta técnica, a região de interesse é dividida em pequenas sub-

regiões, chamadas de volumes de controle. As equações de conservação são discretizadas e resolvidas iterativamente para cada volume de controle, obtendo-se como resultado uma aproximação do valor de cada variável em pontos específicos do domínio.

Assim, considerando-se que áreas contaminadas por hidrocarbonetos do petróleo resultam em problemas ambientais sérios e muito comuns e visando a remediação desse problema, o processo de separação de óleo/água utilizando argilas organofílicas e a utilização de análises numéricas por simulação poderá oferecer uma nova opção para que tais desafios sejam solucionados.

1.1. Materiais

Os materiais utilizados para o presente trabalho foram Argila e Sal Quaternário de Amônio.

1.1.1. Argila

A amostra de argila estudada foi concedida pela empresa de minerais não-metálicos BENTONISA – BENTONITA DO NORDESTE S. A. Essas matérias, encontram-se nas formas “*in natura*,” sua extração foi da mina denominada Lages, localizada na Paraíba, no município de Boa Vista. Que é denominada comercialmente por Bentogel-V.

1.1.2. Sal Quaternário de Amônio

O sal utilizado foi codificado como tipo G, que corresponde, ao hexadecil Trimetil amônio (Genamin-CTAC50). O qual este foi utilizado em concentrações de 70, 75 e 80meq/100g de argila, para os dois métodos de preparação da argila.



1.2. Equações

O modelo matemático utilizado para descrever o escoamento no meio poroso, bem como o processo de separação água/óleo baseado nas equações de conservação de massa e de quantidade de movimento dadas por:

$$\frac{\partial}{\partial t} w_{\dots} + \nabla \cdot (\dots K \cdot \vec{U}) = 0 \quad [1]$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (w_{\dots} \vec{U}) + \nabla \cdot (\dots (K \vec{U}) \otimes \vec{U}) - \nabla \cdot (\dots K (\nabla \vec{U} + (\nabla \vec{U})^T)) = w R \vec{U} - w \nabla \quad [2]$$

Onde \vec{U} é o vetor velocidade real, \sim_e é a viscosidade efetiva, e $R = (R^{ij})$ representa a resistência ao escoamento no meio poroso, que é, em geral, um tensor simétrico positivo de segunda ordem, a fim de atender as possíveis anisotropias na resistência, w é a porosidade volumétrica, w a massa específica do fluido, t o tempo e $K = (K^{ij})$ é um tensor simétrico de segunda ordem, chamado de tensor porosidade de área.

A resistência que a membrana cerâmica oferece ao escoamento foi estudada a partir da combinação da lei de Darcy, Equação [3], com a relação empírica proposta por Timur [1968], que relaciona a permeabilidade com a porosidade do meio filtrante, equação [4], considerando que a membrana estivesse completamente saturada com água.

$$q = \frac{KA}{\sim} \cdot \frac{dP}{dX} = A \epsilon^0 \quad [3]$$

$$K = 8,58102 \frac{W^{4,4}}{S_w^2} \quad [4]$$

Onde K (m^2) é a permeabilidade, w é a porosidade da membrana, A é área, \sim a viscosidade dinâmica do fluido, ϵ' é a velocidade média, S_w a saturação de água no meio poroso; q é a vazão de fluido através da membrana, $\frac{dP}{dX}$ é a taxa de variação da pressão na membrana.

As equações de Darcy [3] e [4] representam o movimento do fluido escoando através de um meio poroso, associadas à permeabilidade do meio macroscopicamente. Enquanto as equações [1] e [2] representam o fluxo de massa e a força motriz de movimento, respectivamente, associadas ao processo microscópico.

1.2.1. Condições de Contorno

As equações diferenciais [1], [2], [3] e [4] que descrevem o fenômeno estudado necessitam de condições de contorno sobre a célula de separação, a fim de complementar o modelo matemático, as quais estão listadas na Tabela 1, de acordo com o caso estudado.

Tabela 1 – Condições de contorno para os casos estudados.

Casos		W (kg/s)	r_a	r_o	P(Pa)
1	Entrada	0,1	0,9	0,1	---
	Saída	---	---	---	101325

Onde W é a vazão mássica da mistura, r_a a fração mássica da água, r_o a fração mássica do óleo e P a pressão de referência.



Outros dados importantes que foram definidos na solução são aqueles relacionados com as propriedades do fluido e o meio que este está escoando. O óleo com densidade de 866.5 Kg/kmol e viscosidade dinâmica 0.014 Pa.s. A água com densidade 997 Kg/kmol e viscosidade dinâmica 0.0008899 Pa.s. E a membrana com porosidade 0.4403 e diâmetro médio dos poros 0.74 μm .

2. METODOLOGIA

2.1. Preparação da Argila Organofílica – Via Dispersão Aquosa

Foi realizada a organofilização da argila Bentonita *in natura* utilizando o sal quaternário de amônio, tipo G, em diferentes concentrações são elas: sal quaternário de 70meq/100g (14,3136g) de argila, 75meq/100g (15,336g) e 80meq/100g (16,3584g), respectivamente correspondentes a concentração de argila do tipo G via dispersão aquosa. A metodologia de preparação das argilas organofílicas foi baseada nos trabalhos desenvolvidos por Silva [2005].

2.2. Preparação da Argila Organofílica – Via Pasta

O preparo de argila organofílica via pasta, também foi baseado em estudos desenvolvidos por Silva [2005]. Para esta finalidade utilizou-se: 37,76g de argila *in natura*, as quais foram misturadas diretamente ao sal quaternário de amônio (SQA), conforme as quantidades apresentadas, e homogeneizadas manualmente, sem a utilização de água.

Para melhor organização dos resultados e rápida identificação das

amostras, as mesmas foram codificadas da seguinte forma:

- ABO70GD Argila Bentogel-V Organofilizada à 70meq com Sal Quaternário Genamin-CTAC50 do tipo G via dispersão aquosa;
- ABO75GD Argila Bentogel-V Organofilizada à 75meq com Sal Quaternário Genamin-CTAC50 do tipo G via dispersão aquosa;
- ABO80GD Argila Bentogel-V Organofilizada à 80meq com Sal Quaternário Genamin-CTAC50 do tipo G via dispersão aquosa;
- ABO70GP Argila Bentogel-V Organofilizada à 70meq com Sal Quaternário Genamin-CTAC50 do tipo G via pasta;
- ABO75GP Argila Bentogel-V Organofilizada à 75meq com Sal Quaternário Genamin-CTAC50 do tipo G via pasta;
- ABO80GP Argila Bentogel-V Organofilizada à 80meq com Sal Quaternário Genamin-CTAC50 do tipo G via pasta;

2.3. Inchamento Foster

O Inchamento Foster foi realizado com o auxílio de uma proveta com capacidade volumétrica de 100ml ou 50ml. A análise dos resultados, foram feitas de acordo como proposto por Ramos Vianna et al. [2002], apresentadas na Tabela 2.

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Catálise, Adsorção e Biocombustíveis (LabCAB), seguindo metodologia fornecida pela empresa BENTONISA BENTONITA DO NORDESTE S/A.



Tabela 2 - Relação do inchamento e a fixa obtida na após a realização do teste.

Inchamento	Faixa
Não-inchamento	Igual ou inferior a 2 ml/g
Baixo	3 a 5 ml/g
Médio	5 a 8 ml/g
Alto	Acima de 8 ml/g

2.4. Difração de Raios X

Para a realização do ensaio de difração de raios X a amostra em pó. O DRX das amostras *in natura* e organofílicas foram realizados em um difratômetro Shimadzu, modelo XRD 600.

2.5. Teor de Umidade

O teor de umidade foi realizado da seguinte forma: num vidro relógio, de massa conhecida, foi colocado 10,00g da amostra a ser analisada. O conjunto foi levado à estufa por duas horas, a uma temperatura de 100°C, e logo após transferido para o dessecador até atingir a temperatura ambiente. O conjunto foi pesado, e encontrado o peso da amostra seca, calculando-se, então, o teor de umidade.

2.6. Espectroscopia na Região do Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros na região do infravermelho foram obtidos em comprimentos de onda de 600 - 4000 cm^{-1} e com resolução de 2 cm^{-1} . O equipamento utilizado foi o espectrômetro Perkin Elmer Precisely modelo Spectrum 400. O ensaio foi realizado no Laboratório

de Avaliações e Desenvolvimento de Biomateriais (CERTBIO) da Universidade Federal de Campina Grande.

2.7. Montagem do Sistema de Separação Óleo/Água - Tratamento do Efluente Oleoso

O sistema (esquema mostrado na Figura 6), projetado para realizar o ensaio de separação óleo/água, em escala de bancada, no qual se mantém o fluxo de emulsão contínuo e constante durante todo o experimento.

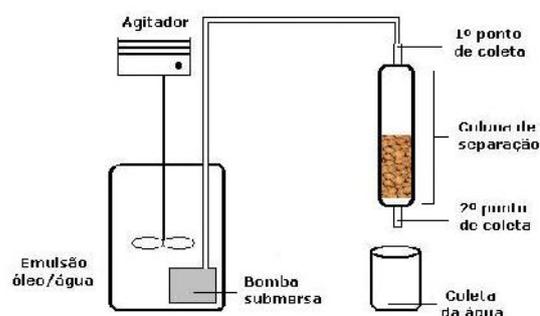


Figura 6 - Esquema do sistema utilizado na separação óleo/água.

A análise do efluente tratado foi realizada no Laboratório de Saneamento da Universidade Federal de Campina Grande, em um Espectrofotômetro 600 Plus, da marca Femto, em comprimento de onda de 325nm.

2.8. Simulação Computacional

A geometria do problema é de acordo com a figura 7, onde de acordo com as condições de contorno do problema, pode-se observar que a mistura água/óleo em concentração a ser determinada no software passa através de um meio poroso onde o óleo será retido, de forma que na saída do sistema se tenha água com teor de óleo inferior em ppm ao que estabelece a RESOLUÇÃO 393 DO CONAMA. O software usado para simulação computacional da limpeza da água se fundamenta na técnica de volumes finitos,



a partir da discretização de espaço e tempo do domínio do escoamento.

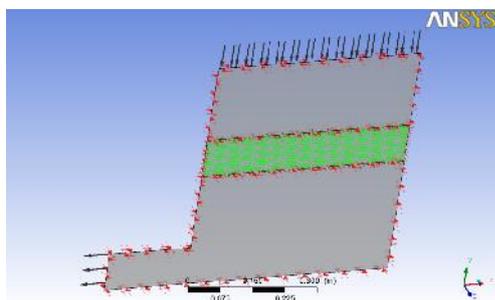


Figura 7 – Representação da geometria retangular e contorno do meio poroso.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Difração de Raios-X (DRX)

A figura 8 apresenta a curva de difração de raios-X da amostra ABN-V, que visa verificar a existência de minerais acessórios e de argilominerais. Observa-se que a amostra natural evidencia a intensidade mais alta dos picos característicos de argilas do tipo esmectítico e se encontram dentro da faixa apresentada pelos argilominerais desse grupo.

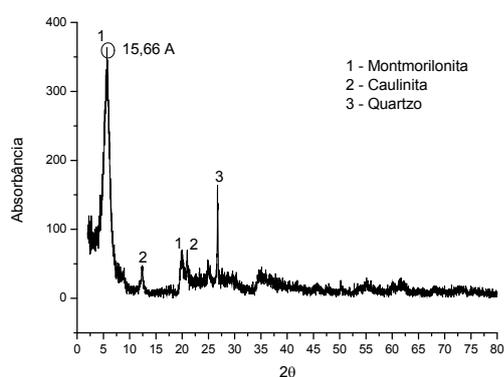


Figura 8 - Curva de difração de raios X da ABN-V

A argila ABN-V é formada por uma mistura de argilomineral montmorilonita,

quartzo e caulinita. Apresentando pico principal a 15,64 Å característico da presença do argilomineral do grupo esmectita. Segundo Gopinath [2003] as argilas bentoníticas apresentam distância basal entre 10 e 15 Å, além disso, observa-se a presença de quartzo e caulinita com picos de 4,44 Å e pico de 3,33 Å, respectivamente. Comprovando que a argila em estudo é uma Bentonita.

Analisando as curvas de difração de raios X apresentados na Figura 9 (a), notamos o aumento expressivo, de 15,64 Å para 26,26 Å, 25,88 Å, 26,67 Å, dos picos (d_{001}) das amostras ABO70GD, ABO75GD, ABO80GD, respectivamente, preparadas via dispersão com o sal quaternário de amônio, evidenciando a intercalação efetiva dos cátions quaternários de amônio nas camadas interlamelares, ou seja, a troca ocorrida dos íons cálcio pelo cátion proveniente do sal, aumentando o espaçamento basal entre as camadas das amostras. As diferenças nos valores da distância interplanar entre as amostras estão relacionadas ao tipo de posicionamento e densidade do cátion quaternário de amônio intercalado.

Os resultados obtidos neste estudo, comparados com estudos realizados por Silva (2005), apresentaram um aumento da distância basal das argilas bentoníticas após o tratamento, indicando que o tratamento com o sal quaternário de amônio promoveu a organofilização da argila.

Analisando as curvas de difração de raios X apresentados na Figura 9 (a) e 9 (b), notamos o aumento não muito expressivo, de 15,64 Å da amostra *in natura* para 17,94 Å, 18,33 Å, 18,98 Å, dos picos (d_{001}) das amostras ABO70GP, ABO75GP, ABO80GP, respectivamente, preparadas via pasta com o sal quaternário de amônio, comparando com



as preparadas via dispersão. O distanciamento basal das amostras via dispersão, foram maiores, concluindo que esta apresenta melhores resultados quando preparadas em um meio aquoso.

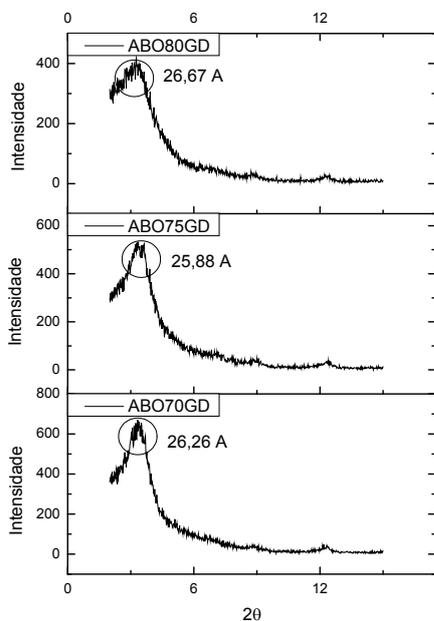


Figura 9 - (a) Curvas de difração de raios X das amostras preparadas via dispersão

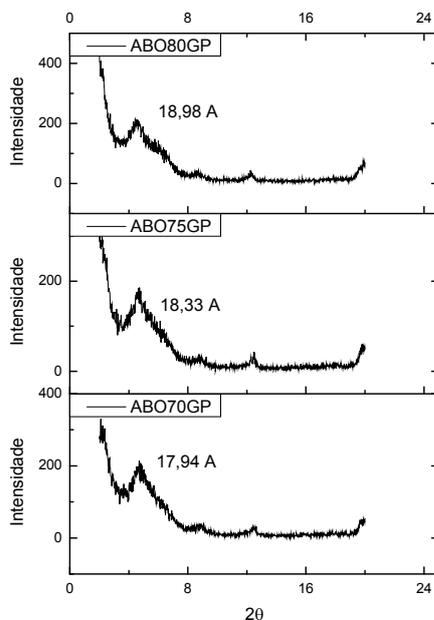


Figura 9 – (b) Curvas de difração de raios X das amostras preparadas via pasta.

3.2. Espectroscopia na Região do Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Nas figuras 10 e 11, estão apresentados os espectros na região do infravermelho da amostra *in natura*, e das amostras tratadas.

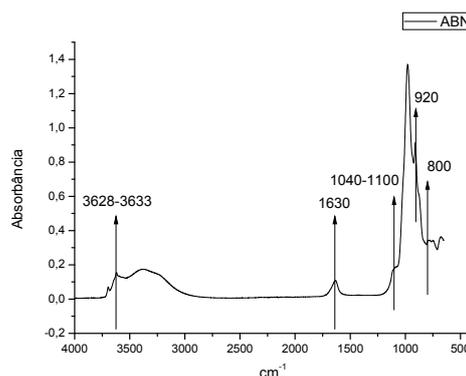


Figura 10 – Espectrograma da amostra ABN-V.

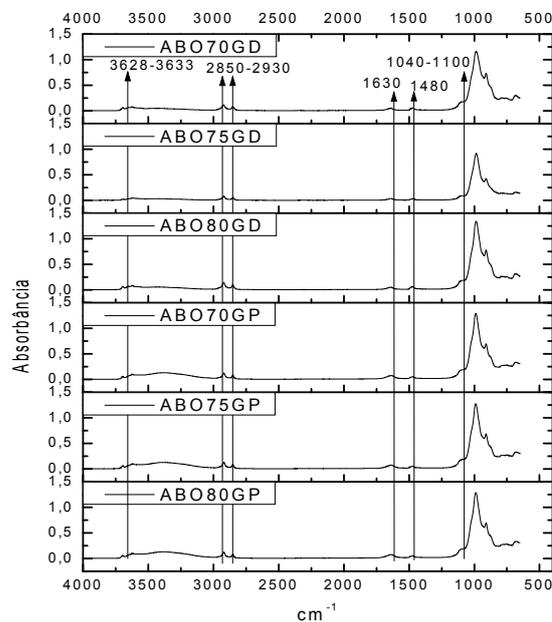


Figura 11 – Espectrogramas das amostras tratadas,

A faixa de bandas entre 470 e 1120 cm^{-1} corresponde à estrutura do



filossilicato, associada a estiramentos e deformações angulares do Si-O-Si e Si-O-Al. Estas vibrações ocorrem dentro da estrutura cristalina sem serem afetadas pelos cátions intercalados estando presentes em todas as argilas. De acordo com Zhang, et al. [2003], nos espectros na região do infravermelho das amostras verifica-se o aparecimento de bandas.

Bandas compreendidas entre 3633-3628 cm^{-1} são referentes às vibrações de estiramento do grupo hidroxilas, na faixa de 1630 cm^{-1} banda característica de água adsorvida, os picos característicos da ligação Si-O-Si são frequentes na faixa de 1100 – 1040 cm^{-1} e 523 – 525 cm^{-1} , na faixa de 630 cm^{-1} ocorre a ligação Al-O e as camadas octaédricas são frequentes nas faixa de 920 cm^{-1} , 800 cm^{-1} e 525 cm^{-1} . A presença destes picos, nas amostras, indica características de argilas do tipo esmectítico, estando em conformidade com os difratogramas de raios-X.

Nas amostras tratadas, podemos observar dois picos, compreendidos entre o intervalo de 2850-2930 cm^{-1} , sendo provavelmente correspondente as vibrações do estiramento de CH_2 e na faixa de 1480 cm^{-1} correspondente à o CH_3 . Para as amostras tratadas há diminuição da banda referente às vibrações de estiramento do grupo hidroxilas, evidenciando o aumento do caráter hidrofóbico das amostras, e a diminuição do caráter hidrofílico. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva [2005].

3.3. Teor de Umidade (TU)

Para determinação da umidade foi utilizada a técnica tradicional, onde a água é retirada do produto, geralmente por processo de aquecimento, e o teor de

umidade é calculado pela diferença de peso das amostras no início e ao final do processo. Esta diferença corresponde a quantidade de água retirada.

Resultados do teor de umidade (TU) para as amostras tratadas e a amostra natural.

Tabela 3 – Teor de óleos e graxas para os efluentes tratados com as amostras em estudo

<i>Amostra que foi usada no tratamento</i>	<i>Teor de óleos e graxas (ppm)</i>
ABO70GD	< 0,01
ABO75GD	< 0,01
ABO80GD	< 0,01
ABO70GP	< 0,01
ABO75GP	< 0,01
ABO80GP	< 0,01

Analisando os resultados da Tabela 3 observa-se que as amostras tratadas, tiveram uma redução do caráter hidrofílico, pois após tratamento com o sal quaternário de amônio elas tornaram-se mais hidrofóbicas, o que confirma a intercalação do sal quaternário de amônio nas lamelas da argila, diminuindo a capacidade destas absorverem umidade do meio em que se encontram. A amostra em sua forma *in natura* apresenta um teor de umidade de 12,41 %, após os tratamentos com diferentes concentrações, os teores de umidade foram de 2,46 %, 3,16 %, 3,04 %, 2,39 %, 2,42 % e 2,34 %, para as amostras ABO70GD, ABO75GD, ABO80GD, ABO70GP, ABO75GP e ABO80GP, respectivamente.

3.4. Inchamento Foster

Na tabela 4, observam-se os resultados do Inchamento Foster.



Tabela 4 – Resultados do inchamento de Foster.

Amostra	SOLVENTE / INCHAMENTO (ml/g)				
	Água	Gasolina	Diesel	Querosene	Xileno
ABN	9	1	1	1	1
ABO70GD	*	11	9	5	9,5
ABO75GD	*	12	7,5	5	10
ABO80GD	*	11	7	5	9
ABO70GP	*	6,5	2,5	2	4,5
ABO75GP	*	7	2,5	2	4,5
ABO80GP	*	7	3	2	4

*Não foi possível a medição

Não foi possível obter os resultados de inchamento para as amostras tratadas, quando estas estão em meio aquoso, pois estas após tratamento diminuem o caráter hidrofílico.

Observa-se os maiores inchamentos para a gasolina, se destacando as amostras que foram preparadas pela metodologia via dispersão, nas quais estas foram classificadas como tendo um alto inchamento, com 11 ml, 12 ml e 11 ml, para a ABO70GD, ABO755GD e ABO80GD, respectivamente. Comparando as amostras preparadas pelas duas diferentes metodologias, as preparadas via dispersão tiveram melhores inchamentos do que as preparadas via pasta.

Os melhores inchamentos em ambas as metodologias de organofilização, foram para os solventes gasolina e xileno. E os menores inchamentos foram para o querosene.

3.5 Resultados dos efluentes tratados

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados para a análise do teor de óleos e graxas no efluente tratado com as amostras em estudo.

Tabela 5 – Teor de óleos e graxas para os efluentes tratados com as amostras em estudo.

Amostra que foi usada no tratamento	Teor de óleos e graxas (ppm)
ABO70GD	< 0,01
ABO75GD	< 0,01
ABO80GD	< 0,01
ABO70GP	< 0,01
ABO75GP	< 0,01
ABO80GP	< 0,01

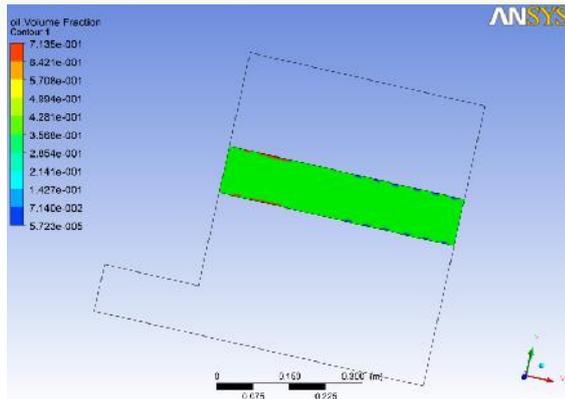
Analisando os resultados apresentados na Tabela 4, tem-se que todas as amostras trataram o efluente de 1000ppm de concentração, de forma que os mesmos atingiram concentração final menos que 20ppm, conforme determinado pelo CONAMA.

3.6 Resultados da Simulação Computacional

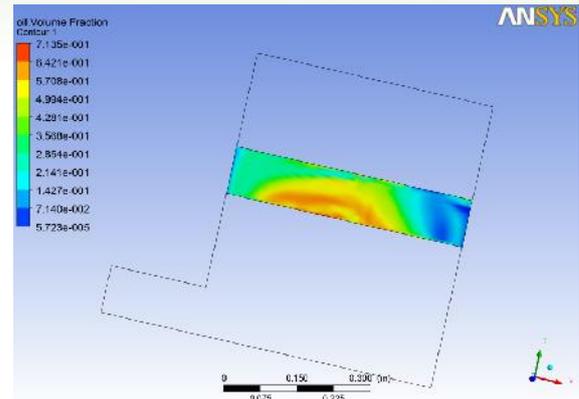
Tabela 6 - Adsorção com o tempo

Óleo Volume Fração	Tempo (s)
0,0008	30,54
0,0090	36,00
0,0221	44,00
0,0270	53,00
0,0480	81,00
0,0600	106,00
0,0800	150,00
0,0978	230,00

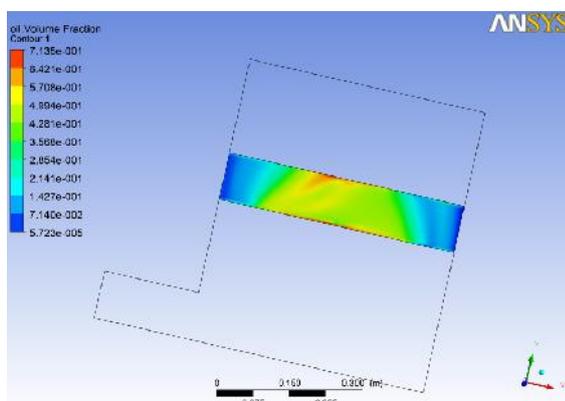
Nota-se claramente pela tabela 6 que ocorre adsorção do meio com o tempo, evidenciando haverá diminuição da sua capacidade adsorptiva, demonstrando claramente a importância da simulação na análise dos dados.



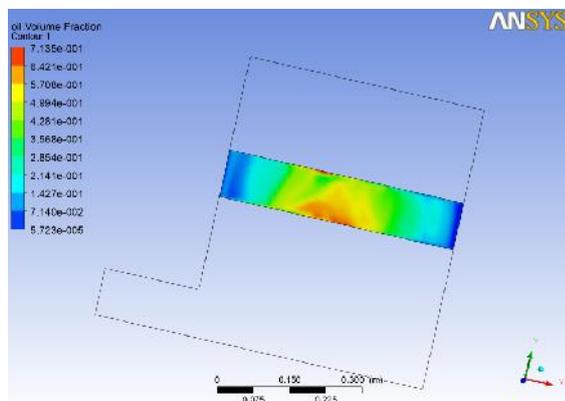
(a)



(d)



(b)



(c)

Figura 12 – Distribuição da fração volumétrica do óleo em diferentes tempos (a) 0 s, (b) 50 s, (c) 100 s, (e) 250 s.

4. CONCLUSÕES

Através da técnica de Difração de Raios-X (DRX), foi possível confirmar a obtenção do material organofílico, uma vez que, as amostras após tratamento tiveram o aumento basal, indicando a efetiva intercalação do cátion orgânico do sal quaternário.

Através da técnica de Espectroscopia na região do infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), na amostra tratada, observou-se o surgimento de dois picos, sendo provavelmente correspondentes as vibrações do estiramento de CH_2 e CH_3 . E também se observou a redução do caráter hidrofílico.

Verificou-se que a amostra após tratada, mesmo esta sendo cálcica, apresentou resultados coerentes no teste de inchamento Foster. Tendo seu maior inchamento em gasolina e em xileno.

O efluente após tratamento se enquadrou na especificação da resolução 430/2011 do CONAMA

4.1 Simulação

Assim, devido às propriedades



absortivas das argilas bentoníticas com solventes orgânicos, e pelo seu baixo custo comparado com outros métodos já existentes, esta se apresenta uma alternativa para o processo de separação óleo/água.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S. F. **Recursos minerais do Brasil**. 2. ed., São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1973. 324 p., v. 1

ALMEIDA NETO, A. D. de; SILVA, A. A.; DÍAZ, F. R. V.; RODRIGUES, M. G. F.; **Argilas organofílicas na separação óleo/água**. X Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, VI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2006.

GOPINATH, T. R., CRUZ, V. C. A., FREIRE, J. A., **Estudo comparativo da composição química e as variedades de argilas bentoníticas da região de Boa Vista**, Paraíba. Revista de Geologia. Vol. 16 nº 1, 35-48, 2003.

JOSÉ, C. V., **Obtenção e caracterização de argilas organofílicas preparadas em laboratório para adsorção de compostos fenólicos visando seu uso no controle ambiental de poluentes industriais**, Tese de Doutorado apresentada ao Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Orientador Prof. Dr. Pedro M. Buchler. São Paulo, 2003.

KONTA, J. Clay and man: clay raw materials in the service of man. Applied Clay Science, v. 10, n. 4, p. 275-335, 1995.

KOSTETZER, L. A. Relatório de Estágio ESSS - **Engineering Simulation and Scientific Software**, Florianópolis, Março de 2007

SANTOS, P. de S. **Ciência e tecnologia de argilas**. 2. ed. São Paulo: Edgard BlücherLtda., 1992. 408 p., v. 2

SANTOS, P. de S. **Tecnologia de argilas: aplicada às argilas brasileiras**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1975. 461 p., v. 2.

SILVA, A. A. **Contribuição ao estudo das bentonitas do município de Boa Vista Estado da Paraíba**. Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – SP, 282p, 2011.

SILVA, A. A.; **Estudo de argilas organofílicas destinadas à separação óleo/água**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, Novembro de 2005.

SOUZA SANTOS, P. **Tecnologia de argilas**. Ed. Edgard Blücher, vol. 3, São Paulo, 1992.

RAMOS VIANNA, M. M. G.; JOSÉ, C. L. V.; PINTO, C. A.; BÜCHLER, P. M.; VALENZUELA-DÍAZ, F. R. **Preparação de duas argilas organofílicas visando seu uso como sorventes de hidrocarbonetos**. Anais do 46º Congresso Brasileiro de Cerâmica, p. 1860-1871, São Paulo-SP, Brasil, 2002.

RESOLUÇÃO AMBIENTAL Nº 393 de 08 de Agosto de 2007 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

RESOLUÇÃO AMBIENTAL Nº 430 de 13 de maio de 2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

TRINDADE, M. H. P. A. **Bentonita**. In: Sumário Mineral 2000. Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília .p. 31-32, 2000.

ZHANG, W. A.; CHEN, D. Z.; XU, H. Y.; SHEN, X. F.; FANG, Y. E. **Influence of four different types of organophilic clay on the morphology and thermal properties of polystyrene/clay**



nanocomposites prepared by using the x-ray irradiation technique. European Polymer Journal, v. 39, p. 2323-2328, 2003.