



ESTUDO DE ARGILAS ESMECTÍICAS NA SEPARAÇÃO ÓLEO/ÁGUA

STUDY OF SMECTITICS CLAYS IN OIL/WATER SEPARATION

Priscilla Silveira de Lima Vieira¹; Iara Deodato Alves da Silva¹; Guilherme Costa de Oliveira²; Jocielys Jovelino Rodrigues³

Artigo recebido em: 28/09/2020 e aceito para publicação em: 04/12/2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/holos.v21i1.12422>

Resumo: A contaminação por compostos orgânicos, incentiva a busca de novas tecnologias de remediação. Emulsões óleo/água são os principais poluentes emitidos pelos efluentes industriais e domésticos. As águas oleosas em canais subterrâneos e em zonas costeiras apresentam sérios problemas de poluição da água e necessitam urgentemente de soluções. Diante de tal cenário, este trabalho visou contribuir no sentido de estudar argilas esmectíticas e sua utilização como adsorvente no processo de separação óleo/água. A argila foi caracterizada a partir das técnicas Difração de raios X (DRX) para identificar a estrutura do material e Espectroscopia de Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva (EDX) para determinação da composição química do material em termos qualitativo e semi-quantitativo. O teste de capacidade de adsorção e inchamento de Foster indicaram o elevado potencial que a argila bentonita tem como adsorvente. Os resultados dos testes realizados em gasolina, diesel e querosene indicam que a argila Argel apresenta capacidade de adsorção nos solventes orgânicos testados: gasolina (1,788 g/g), querosene (1,501 g/g) e diesel (2,745 g/g).

Palavras-chave: Adsorção. Argilas. Bentonitas. Separação.

Abstract: Contamination by organic compounds encourages the search for new remediation technologies. Oil / water emulsions are the main pollutants emitted by industrial and domestic effluents. Oily waters in underground channels and coastal areas present serious water pollution problems and are in urgent need of solutions. In view of this scenario, this work aimed to contribute towards the study of smectitic clays and their use as an adsorbent in the oil / water separation process. The clay was characterized by the techniques of X-ray diffraction (XRD) to identify the material structure and X-ray Fluorescence Spectroscopy by Dispersive Energy (EDX) to determine the chemical composition of the material in qualitative and semi-quantitative terms. Foster's adsorption and swelling capacity test indicated the high potential that bentonite clay has as an adsorbent. The results of tests carried out on gasoline, diesel and kerosene indicate that the Algiers clay has an adsorption capacity in the organic solvents tested: gasoline (1.788 g/g), kerosene (1.501 g/g) and diesel (2.745 g/g).

Keywords: Adsorption. Clays. Bentonites. Separation.

¹ Centro Universitário Maurício de Nassau (Uninassau), João Pessoa, PB, Brasil. E-mail: (pris-cillalima@hotmail.com)

² Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, PB, Brasil. E-mail: (guilhermegecos@hotmail.com)

³ Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal, PB, Brasil. E-mail: (jocielysr@gmail.com)

1 INTRODUÇÃO

Diariamente uma série de produtos orgânicos são descartados, provenientes de diversas fontes antrópicas como: esgotos domésticos, efluentes industriais, atividades agropecuárias, produtos farmacêuticos, descartes de laboratórios, curtumes, refinarias de petróleo, entre outros (CHEREMISINOFF, 1995; SABATÉ; BAYONA; SOLANAS 2001; IJAGBEMI; BAEK; KIM, 2009). Nos últimos anos, considerável atenção tem sido dada ao controle da emissão de efluentes oleosos e seus impactos ambientais. O óleo presente em solução aquosa pode apresentar-se sob as formas: livre, disperso e emulsificado (BAYONA; SOLANAS 2001). O óleo livre representa as dispersões grosseiras, constituídas por gotas com diâmetro superior a 150 μm ; esse tipo de dispersão é facilmente removido por meio de processos convencionais de separação gravitacional (SILVA, 2010). O óleo disperso, normalmente com diâmetros de gota entre 50 e 150 μm , também pode ser removido por processos gravitacionais, contudo, a eficiência de separação neste caso dependerá essencialmente da distribuição dos diâmetros das gotas e da presença ou não de agentes estabilizantes (IJAGBEMI; BAEK; KIM, 2009). No caso do óleo emulsificado, o diâmetro das gotas situa-se abaixo de 50 μm , o que dificulta a sua separação por meios gravitacionais (SILVA, 2010).

Atualmente, a adsorção é reconhecida como método eficaz e econômico para o tratamento de águas oleosas (IJAGBEMI; BAEK; KIM, 2009). A adsorção é uma operação unitária na qual há habilidade de certos sólidos em concentrar-se na sua superfície determinadas substâncias existentes possibilitando a separação e/ou purificação dos componentes desses fluidos ocorrendo por transferência de massa (NASCIMENTO *et al.*, 2014). Um adsorvente muito utilizado na adsorção de contaminantes é o carvão ativado, entretanto, este apresenta elevado custo quando comparado a outros adsorventes naturais. Dessa forma, as indústrias prezam por adsorventes econômicos e de elevada capacidade adsortiva (OLIVEIRA, 2012; VIEIRA, 2018).

Particularmente as argilas têm chamado a atenção como materiais adequados para a remoção de óleos emulsificados em água. Emulsões óleo/água são os principais poluentes emitidos pelos efluentes industriais e domésticos. (MOAZED VIRARAGHAVAN, 2005; ALTHER 2008; DUARTE *et al.*, 2019;). As argilas são comumente definidas como materiais naturais, terrosos, de granulação fina que quando umedecidos com água, apresentam plasticidade. De modo geral, o termo argilas refere-se às partículas do solo que possuem diâmetro inferior a 2 μm e das quais podem fazer parte diferentes tipos de

minerais: silicatos lamelares de magnésio e de alumínio (filossilicatos), quartzo, feldspato, carbonatos, óxidos metálicos e até mesmo matéria orgânica (TEIXEIRA-NETO, E.; TEIXEIRA-NETO, A. A.; 2009).

Os diferentes grupos de argilas são definidos de acordo com a maneira com que as folhas tetraédricas e octaédricas se arranjam, formando as lamelas: 1:1 na qual apenas uma folha tetraédrica está ligada a uma folha octaédrica; e 2:1 na qual uma folha octaédrica está no meio de duas folhas tetraédricas. O tipo mais comum e abundante de argila é a caulinita, 1:1. Entre as argilas 2:1, encontram-se as Montmorilonitas, Vermiculitas e Atapulgitas (TEIXEIRA-NETO, E.; TEIXEIRA-NETO, A. A.; 2009). O grupo de argilas com maior variedade de empregos industriais é o da bentonita (argilas esmectíticas) devido as suas propriedades físico-químicas.

As argilas esmectíticas, mais precisamente a montmorilonita presente nas bentonitas, são os argilominerais mais comumente utilizados no campo dos nanocompósitos poliméricos. Suas características químicas e físicas, como: alta capacidade de troca iônica, grande razão de aspecto (relação entre a largura e a espessura) e a sua capacidade de ser esfoliada em uma única lamela da ordem de 1 nanômetro de espessura, tornam a montmorilonita o argilomineral ideal para esta aplicação (MURRAY, 2007).

Diversos tipos de tratamento podem ser aplicados em argilas e outros minerais com o objetivo de incrementar as propriedades de adsorção de pigmentos presentes em óleos vegetais. No entanto, quase a totalidade das argilas comerciais disponíveis para o descoloramento de óleo pertence ao grupo das esmectíticas, mais especificamente as montmorilonitas cálcicas, ativadas com ácidos inorgânicos fortes (ácido sulfúrico ou ácido clorídrico) (PATRICIO, 2013).

Pesquisas têm sido realizadas na catálise com o intuito de aproveitar o grande potencial das argilas, com destaque para a utilização deste material na separação de óleo/água. As argilas possuem propriedades similares as zeólitas, baixo custo e podem ser encontradas em grande escala na natureza. Dessa forma, tem ganhado destaque propostas para sintetizar o biodiesel utilizando argilas.

Portanto, este trabalho tem como objetivo estudar as características de argilas esmectíticas denominadas *Argel* e avaliar seu potencial na capacidade de remoção de solventes orgânicos. As amostras foram caracterizadas em análise química através do Espectrômetro de Raios X por Energia Dispersiva (EDX), Difração de Raios X (DRX), testes

de inchamento de Foster e de capacidade de adsorção em diversos solventes (gasolina, querosene e diesel).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização

2.1.1 Análise Química através do Espectrômetro de Raios X por Energia Dispersiva (EDX)

Essa técnica consiste em determinar a composição química do material em termos qualitativo e semiquantitativo. A composição das amostras foi analisada em um Espectrômetro de Raios X por Energia Dispersiva – Shimadzu (EDX-700). Os elementos com número atômico abaixo de 11 (Na) não podem ser detectados por limitação do método. A Tabela 1 apresenta os parâmetros de análise que foi realizada no Laboratório de Caracterização de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Tabela 1 – Condições de análises pelo EDX

Método	Qualitativo - Semiquantitativo
Atmosfera	He
Canais	Na-Sc, Ti-U
Amostra	Pó
Forma do Resultado	Elemento

Fonte: Autores (2016).

2.1.2 Difração de Raios X (DRX)

O ensaio de Difração de Raios X foi realizado em um equipamento modelo XRD-6000 da Shimadzu pelo método de varredura que consiste na incidência dos raios X sobre o pó das amostras não calcinadas. O ensaio foi conduzido utilizando radiações de $\text{CuK}\alpha$, com velocidade de varredura de $2^\circ(2\theta)/\text{min}$, com ângulo 2θ percorrido de 0 a 50° . A análise foi realizada no Laboratório de Caracterização de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

2.1.3 Testes de Inchamento de Foster

Este teste é baseado no *Standard Test Method for Swell Index of Clay Mineral Component of Geosynthetic Clay Liners* (ASTM D 5890-95). Em uma proveta de 100 mL de capacidade, colocou-se 50 mL do dispersante a ser estudado e foi adicionado lentamente 1,0 g de argila, aguardando até a argila atingir umidade suficiente para a sedimentação. O sistema foi deixado em repouso por 24h e então foi efetuada a leitura do inchamento sem agitação. A Figura 1 apresenta as etapas para a realização do teste sem agitação. Depois foi manualmente agitada, com bastão de vidro, durante 5 minutos, em seguida o sistema foi novamente deixado em repouso por mais 24 horas e então efetuada a leitura do inchamento com agitação. Os solventes orgânicos testados foram: diesel, gasolina e querosene. A análise foi realizada no Laboratório de Química da Uninassau João Pessoa.

Figura 1 – Etapas da realização do teste de inchamento de Foster sem agitação



Fonte: Autores (2016).

2.1.4 Testes de Capacidade de Adsorção

Este teste é baseado na norma “*Standard Methods of testing sorbent Performance of Absorbents*” (ASTM F716-82, 1993). O procedimento realizado foi o seguinte: em um recipiente colocou-se o solvente a ser testado até uma altura de 2 cm. Em uma cesta (fabricada de tela de Aço Inoxidável com malha ABNT 2150, abertura de 0,075 mm) colocou-se 1,0 g do material adsorvente a ser testado. Esse conjunto foi pesado e colocado no recipiente com o solvente, onde permaneceu por 15 minutos como apresentado na Figura 2. Após esse tempo, deixou-se fluir o excesso por 15 segundos e realizou-se uma

nova pesagem. A análise foi realizada no Laboratório de Química da Uninassau João Pessoa, e visando obter resultados precisos o teste foi realizado em triplicata. A quantidade de solvente adsorvida foi calculada usando a Equação 1 (ASTM F716-82, 1993):

$$Ad = [(P1 - P2) / P2] * 100 \quad (1)$$

Em que, P1: é a massa do material após adsorção; P2: é a massa do material adsorvente seco; Ad: é a Capacidade de adsorção em gramas de solvente por gramas de argilas.

Figura 2 – Etapas do teste de capacidade de adsorção



Fonte: Autores (2016).

Define-se sorção como mecanismos, tanto a adsorção quanto absorção. A adsorção diz respeito a acumulação entre fases ou a concentração de substâncias relativas a uma superfície ou interface, e caracteriza-se por uma grande área específica e afinidade química entre a superfície do material sorvente e o sorvato. Por outro lado, a absorção é caracterizada pelo processo em que as moléculas ou átomos de uma fase interpenetram praticamente de forma uniforme com átomos de uma outra fase para formar uma solução com esta segunda fase. Podendo-se afirmar que na absorção a operação de remoção de óleo ocorre basicamente por ação da capilaridade (RIBEIRO et al, 2020).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise Química através do Espectrômetro de Raios X por Energia Dispersiva (EDX)

Baseado na análise do espectrômetro de Raios X por Energia dispersiva, que se trata de uma avaliação semiquantitativa, observa-se na Tabela 2 a composição química da argila na forma de óxido, encontrou-se teores de Dióxido de silício SiO₂ (>50%) e Óxido de

alumínio Al_2O_3 (>20%), esta composição é típica de materiais argilosos do tipo das bentonitas e possivelmente estão associados ao comportamento tetraédrico e octaédrico dos argilominerais e acessórios. Além desta composição ainda foi observado a presença de outros Óxidos como: o de ferro (Fe_2O_3), Óxido de magnésio (MgO) e óxido de cálcio (CaO), característico do mineral acessório calcita, assim como impurezas, como o Óxido de sódio (Na_2O) e Óxido de potássio (K_2O). A amostra apresenta valores de Al_2O_3 inferior a 46%, sendo o material classificado como sílico-aluminoso (ABNT, 1986).

Tabela 2 - Composição química da argila

Óxidos	(%)
SiO₂	65,1
Al₂O₃	21,4
Fe₂O₃	6,1
MgO	5,1
CaO	1,1
Outros	1,2

Fonte: Autores (2016).

A Tabela 3 apresenta os dados obtidos da composição química da amostra de argila BSN-01 natural na forma de óxidos encontrados por Silva (2014).

Tabela 3 - Composição química da argila BSN-01 natural

Óxidos	(%)
SiO₂	59,03
Al₂O₃	28,41
Fe₂O₃	6,59
MgO	3,17
CaO	1,16
Na₂O	1,64

Fonte: Adaptada de Silva (2014).

Comparando-se a Tabela 2, juntamente com a Tabela 3, observa-se que tanto a argila *Argel* quanto a BSN-01 apresentou elevados teores de Dióxido de silício (SiO_2) e óxido de alumínio (Al_2O_3) se comparado com os outros componentes, totalizando um percentual acima de 86% e 87%, respectivamente desses dois componentes, onde foram encontrados valores bem próximos em relação as argilas.

Portanto, era esperado que a análise apresentasse como componentes principais SiO_2 e Al_2O_3 , em virtude das Bentonitas serem aluminossilicatos hidratados contendo predominantemente sódio como cátion trocável. Pode-se afirmar ainda que é comum a contaminação dessa argila por matéria orgânica e minerais acessórios como quartzo, caulinita, dentre outros (RIBEIRO, *et al.*, 2020).

3.2 Difração de Raios-X (DRX)

Dentre as diversas técnicas de caracterização de materiais, a Difração de Raios X (DRX) é a mais indicada para extrair dados de materiais cristalinos, sendo muito utilizado na determinação das fases mineralógicas presente em argilas. Isto ocorre, pois a estrutura dos argilominerais é ordenada na forma de planos cristalinos separados entre si por distâncias da mesma ordem de grandeza dos curtos comprimentos de onda dos raios X. Ao incidir um feixe de raios X em um cristal, tal feixe interage com os átomos presentes, dando origem ao fenômeno de difração. A difração de raios X ocorre segundo a Lei de Brag, apresentada na Equação 2 (RIBEIRO, *et al.*, 2020):

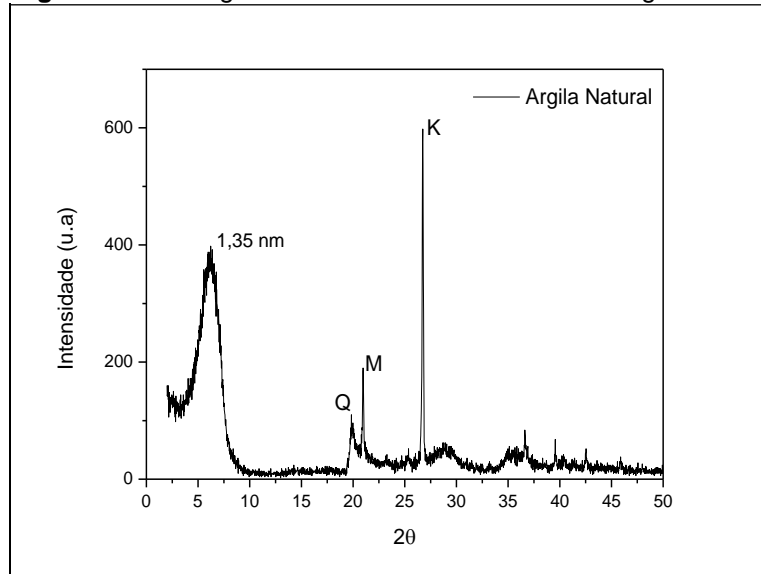
$$n\lambda = 2 d(hkl) \sin\theta \quad (2)$$

Em que, n : número inteiro; λ : comprimento de onda dos raios X incidentes; d : distância interplanar: (índices de Miller h, k, l) e θ : ângulo de difração.

A Lei de Brag estabelece a relação entre o ângulo de difração e a distância entre os planos que a originaram, característicos de cada fase cristalina. A técnica de difração de raios X para a caracterização de fases apresenta como vantagens a simplicidade e rapidez do método, a confiabilidade dos resultados obtidos, a possibilidade de análise de materiais constituídos por uma mistura de fases e uma análise quantitativa destas fases (RIBEIRO, *et al.*, 2020).

O perfil de difração de raios X para as argilas é bastante conhecido na literatura, a análise difratométrica exibe fases diversas, como quartzo e cristobalita (mineral a base de silício), fases comuns em argilominerais naturais e que podem ser decorrentes do intemperismo. Outra característica importante em tais argilas é a localização do pico (001), uma vez que está relacionado com a distância basal das lamelas e é utilizado para identificar argilas esmectíticas conforme apresentado na Figura 3. Geralmente esse pico sofre deslocamento de posição quando incorpora/intercala matéria orgânica, sais, entre outros, dessa forma, é um parâmetro importante na química de intercalação (RIBEIRO, *et al.*, 2020).

Figura 3 - Difratoograma de Raios X da amostra de argila



Fonte: Autores (2016).

Os principais picos detectados nos difratogramas e suas respectivas designações (SANTOS, 1989) estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Designação dos picos de DRX obtidos para a argila

2θ	d(001) Å	Mineral
6,5	13,5	M
20,9	4,3	Q
26,1	3,5	K
28,0	3,1	M
37,0	2,6	M
39,0	2,3	Q
47,0	2,1	Q

Fonte: Autores (2016).

A amostra em estudo apresentou reflexão típica do grupo das esmectíticas em aproximadamente 6,5° um pico de montmorilonita referente ao plano d(001), correspondente ao espaçamento basal de 13,5 Å (1,35 nm) o que confirma que a argila utilizada realmente é uma bentonita, assim como a presença de minerais acessórios. Também verificou-se a presença de picos predominantemente da montmorilonita (M) e a presença de quartzo (Q) como impureza.

3.3 Testes de Inchamento de Foster

O teste de Inchamento de Foster tem como finalidade avaliar o quanto a argila se

dispersa e incha em compostos orgânicos. Na Tabela 5 são apresentadas as avaliações para o teste de Inchamento de Foster, adotadas pelo Laboratório de Matérias-Primas Particuladas e Sólidos Não Metálicos (LMPSol) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP).

Tabela 5 – Considerações adotadas pelo LMPSol para o teste de Inchamento de Foster

Inchamento	Faixa
Não-Inchamento	≤ 2 mL/g
Baixo	3 a 5 mL/g
Médio	6 a 8 mL/g
Alto	> 8 mL/g

Fonte: Vianna *et al.* (2002).

A Tabela 6 apresenta os dados obtidos que indicam a afinidade da argila em solventes orgânicos: gasolina, querosene e diesel como resultados do Teste de Inchamento de Foster com e sem agitação.

Tabela 6 – Teste de Inchamento de Foster utilizando argila *Argel*

Solvente	Argila sem agitação	Argila com agitação
Gasolina	5 mL/g	5 mL/g
Querosene	5 mL/g	5 mL/g
Diesel	5 mL/g	5 mL/g

Fonte: Autores (2016).

Comparando-se a Tabela 6, juntamente com a Tabela 5, observa-se que a argila apresentou baixo inchamento para os solventes no processo com agitação e sem agitação. Isso mostra que é preciso realizar um tratamento na argila, por exemplo um tratamento com ácidos para obter melhores resultados de inchamento, pois a área superficial específica, volume, distribuição e tamanho de poros favorecem a adsorção (ALBANEZ, 2008).

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos para o Teste de Inchamento de Foster utilizando os solventes: gasolina, querosene, diesel e como adsorvente o carvão ativado.

Tabela 7 – Teste de Inchamento de Foster utilizando carvão ativado

Solvente	Argila sem agitação	Argila com agitação
Gasolina	2 mL/g	2 mL/g
Querosene	5 mL/g	5 mL/g
Diesel	3 mL/g	3 mL/g

Fonte: Adaptado de Oliveira (2012).

Observa-se que os valores obtidos por Oliveira (2012) usando um adsorvente mais utilizado comercialmente como o carvão ativado apresentou para gasolina um valor diferentemente menor que o encontrado neste trabalho para a argila, bem como para o diesel e um valor igual para o querosene, dessa forma apresentando baixo inchamento mesmo com agitação.

3.4 Testes de Capacidade de Adsorção

Este teste serve para analisar se a argila apresenta afinidade com compostos orgânicos. Na Tabela 8 observa-se os resultados referentes às análises de capacidade de adsorção para argila e avaliação do potencial das amostras. Sendo assim, verificou-se que os resultados de capacidade de adsorção da argila apresenta a seguinte relação: diesel > querosene > gasolina.

Tabela 8 – Capacidade de adsorção em gramas de material adsorvido por grama da argila

Solvente	Argila
Gasolina	1,288 (g/g)
Querosene	1,501 (g/g)
Diesel	2,145 (g/g)

Fonte: Autores (2016).

Observa-se também para o solvente orgânico diesel (2,145) obteve-se os melhores resultados na adsorção com argila em estudo. Provavelmente este fato indica que existe uma melhor interação das partículas de argila com o solvente. Este fato pode ter relação com a composição química dos compostos (gasolina: C5-C10; querosene: C11-C12; diesel: C13-C17). Os resultados nos testes de adsorção podem também estar relacionados com a viscosidade dos solventes, tendo em vista que o óleo diesel é mais viscoso, uma vez que

os resultados de viscosidade são: diesel - 8 mPa.s (600rpm) e 3,5 mPa.s (300rpm); querosene - 2 mPa.s (600rpm) e 1 mPa.s (300rpm); gasolina - 2 mPa.s (600rpm) e 1 mPa.s (300rpm) (SILVA; RODRIGUES, 2012). Os testes de Capacidade de Adsorção comprovaram as melhores eficiências das argilas organofílicas em relação às argilas na sua forma natural e ao carvão ativado, independentemente do solvente utilizado (SILVA, 2014).

A Tabela 9 apresenta os dados obtidos por Oliveira (2012) para o teste de Capacidade de adsorção para a argila BSN-04.

Tabela 9 – Capacidade de adsorção em gramas de material adsorvido por grama da argila

Solvente	Argila BSN-04
Gasolina	1,000 (g/g)
Querosene	1,280 (g/g)
Diesel	0,850 (g/g)

Fonte: Adaptado de Oliveira (2012).

Comparando-se a Tabela 9 com a Tabela 8, observa-se que a argila natural *Argel* apresentou valores maiores que o da argila BSN-04. E que diferentemente da argila *Argel*, que obteve melhores resultados na adsorção utilizando o solvente diesel, a BSN-04 adsorveu melhor o querosene.

4 CONCLUSÕES

Os resultados de Raios X permitiram observar que a argila utilizada é pertencente ao grupo das esmectíticas Bentonita e verificou-se também a presença da montmorilonita (M) e quartzo (Q) como impureza.

Verificou-se pela análise de (EDX) que os teores de SiO₂ (>50%) e Al₂O₃ (>20%), estão dentro da faixa esperada para este tipo de material. Em relação aos testes de Inchamento de Foster observou-se que a argila apresentou baixo inchamento para os solventes em ambos os processos com agitação e sem agitação. Dessa forma, para melhores resultados é interessante realizar um pré tratamento na argila, por exemplo com ácidos. Por fim, por meio do teste de capacidade de adsorção em solventes orgânicos por capilaridade, observou-se que a argila apresentou capacidade de adsorção nos solventes

testados com uma tendência de: diesel > querosene > gasolina, o que demonstra que a mesma apresentou uma afinidade maior com o solvente diesel.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6457**: Amostra de solos - Preparação para ensaio de compactação e ensaio de caracterização: Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- ALBANEZ, N. E. F. K. **Preparação e caracterização de nanocompósitos preparados com argilas esmectitas (Bentonita), amido e sacarose**. 2008. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.
- ALTHER, G. R. Cleaning wastewater: removing oil from water with organoclays. **Filtration & Separation**, v. 45, p. 22-24, 2008. [https://doi.org/10.1016/S0015-1882\(08\)70057-0](https://doi.org/10.1016/S0015-1882(08)70057-0)
- ASTM. **Standard methods of testing sorbent performance of adsorbents** – Designation: ASTM F716 – 82 (Reapproved 1993).
- CHEREMISINOFF, P. N. **Handbook of water and wastewater treatment technology**. Marcel Dekker Inc., New York, 1995. <https://doi.org/10.1177/0734242X9601400508>
- DUARTE, I. J. M. *et al.* Avaliação do uso de argilas montmorilonitas modificadas na adsorção de nitrato em meio aquoso. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 21-31, 2019. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019167642>
- IJAGBEMI, C. O.; BAEK, M.; KIM, D. Montmorillonite surface properties and sorption characteristics for heavy metal removal from aqueous solutions. **Journal of Hazardous Materials**, v. 166, p. 538-546, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.11.085>
- MOAZED, H.; VIRARAGHAVAN, T. Removal of oil from water by bentonite organoclay. **Practice Periodical of Hazardous, Toxic and Radioactive Waste Management**, v. 9 (2), p. 130-134, 2005. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-025X\(2005\)9:2\(130\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-025X(2005)9:2(130))
- MURRAY, H. H. **Applied clay mineralogy**: occurrences, processing and application of kaolins, bentonites, palygorskite, sepiolite, and common clays. Ed. Elsevier, 2007.
- NASCIMENTO, R. F. do *et al.* **Adsorção**: aspectos teóricos e aplicações ambientais. Fortaleza: Imprensa universitária, 2014.
- OLIVEIRA, G. C. de. **Utilização de adsorventes (Carvão ativado e argilas organofílicas) no processo de separação de emulsões óleo/água**. 2012. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande: UFCG, 2012.
- PATRICIO, J. S. **Caracterização de argilas naturais e ativadas aplicadas na clarificação do óleo de soja**. 2013. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 2013.

RIBEIRO, W. M. A.; RODRIGUES, J. J.; JOVELINO, R. J.; MEDEIROS, W. P.; GALDINO, P.O.; ARAUJO, A. S. Study, characterization and application of smectitic clays for use in oil / water removal processes **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 63778-63790. 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-708>

SABATÉ, J.; BAYONA, J. M. SOLONAS, A. M. Photolysis of PAHs in aqueous phase by UV irradiation. **Chemosphere**. v. 44, p. 119-124, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(00\)00208-3](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(00)00208-3)

SANTOS, P. S. **Ciências e Tecnologia de Argilas**. 2. ed. rev. e amp. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, p.1-93, 1989.

SILVA, E. L. da. **Tratamento de efluentes oleosos utilizando processo de adsorção através de argila organofílica para separação óleo/água**. 2014. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande: UEPB, 2014.

SILVA, M. M.; RODRIGUES, M. G. F. **Síntese de argilas organofílicas visando seu uso no tratamento de efluentes oleosos**. Encontro Norte, Nordeste e Centro-Oeste de Catálise – IX *Encat*, 2012.

SILVA, J. A. **Utilização de argilas organofílicas nacionais em sistemas de separações emulsão óleo/água**. 2010. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande: UFCG, 2010.

STANDARD Test Method for Swell Index of Clay Mineral Component of Geosynthetic Clay Liners (ASTM D 5890-95).

TEIXEIRA-NETO, E.; TEIXEIRA-NETO, A. A. Modificação química de argilas: desafios científicos e tecnológicos para obtenção de novos produtos com maior valor agregado. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 809 -817, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422009000300023>

VIANNA, M. M. G. R., *et al.* Preparação de duas argilas organofílicas visando seu uso como sorventes de hidrocarbonetos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 46., 2002. **Anais [...]**. São Paulo-SP, p. 1860-1871, 2002.

VIEIRA, P. S. de L. **Avaliação da capacidade adsortiva de diferentes biomassas utilizando uma coluna de adsorção sólido-líquido**. 2018. 25 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – UNINASSAU. João Pessoa: 2018.