

INFLUÊNCIA DO TEMPO DE REAÇÃO NA ATIVAÇÃO ÁCIDA DA VERMICULITA

Amanda Gabriela Sobral Lopes¹
Thianne S. B. Barbosa²
Thiago R. B. Barros³
Meiry G. F. Rodrigues⁴
Erivaldo Genuíno Lima⁵

RESUMO

Com as novas buscas por fontes alternativas com baixo custo, a vermiculita vem ganhando espaço no ramo das pesquisas científicas por sua capacidade de expansão, reatividade e a quantidade de sílica em sua composição. A vermiculita é constituída por unidades de silicato do tipo encontrado nas micas com uma deficiência de cargas negativas devido a substituições na camada tetraédrica. Seus cátions interlamelares neutralizantes são de magnésio e estão rodeados de água fazendo com que este argilomineral tenha uma capacidade de expansão e conseqüentemente de adsorção. Existem alguns tratamentos que aprimoram essa capacidade de adsorção como, por exemplo, tratamento térmico, o tratamento ácido e o tratamento com surfactante. Este trabalho tem como objetivo realizar um tratamento ácido na argila vermiculita visando a potencialização do teor de sílica. Para tanto, analisou-se a influência de tempo de contato da argila com o ácido clorídrico em solução e como forma de consolidar o estudo realizou-se análises de DRX e FRX. De acordo com as análises realizadas, foi possível observar que não houve mudanças significativas na composição e estrutura da argila com a variação do tempo de reação, entretanto essa variação ocasionou aumento no teor de sílica.

Palavras-chave: Vermiculita, Ativação ácida, Ácido clorídrico, Tempo de reação.

INTRODUÇÃO

A ciência atual se encontra voltada para o desenvolvimento das tecnologias verdes buscando cada vez mais as fontes alternativas e tendo em vista a composição ampla dos diversos minerais existente nas vermiculitas, elas passam a ser vistas como fontes alternativas, principalmente de sílica pois é o óxido de sílica é a substância de maior teor em sua composição (MORAES, et al, 2018).

Portanto, esta pesquisa se encontra voltada para a potencialização do teor de sílica na vermiculita e a redução do teor de alumínio na mesma, para que este argilomineral seja utilizado como fonte alternativa de sílica em outras pesquisas. Na literatura, encontra-se

¹ Graduando do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, amandagabrielaslopes@gmail.com;

² Doutorando em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, thiannesilva@gmail.com;

³ Doutorando em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, thiagojdbarbosa@hotmail.com;

⁴ Professora orientadora: Doutora, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, meirygfr@hotmail.com.

⁵ Pesquisador do LABINSA, Localizado: Av. Francisco Lopes de Almeida, s/n - Serrotão, Campina Grande - PB, 58434-700, erigenuino@hotmail.com.

estudos onde fatores como: concentração e temperatura são variadas, entretanto, optou-se por fixar essas duas variáveis e trabalhar apenas com o tempo de reação.

A vermiculita utilizada é advinda das redondezas da Serra de Santa Luzia – Paraíba e geralmente as que provêm deste local apresentam um teor. de sílica perto dos 42% (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2008). O tratamento ácido na amostra foi realizado e em seguida, fez-se a lavagem com água destilada até que o pH permanecesse neutro, colocando para secar no fim deste procedimento.

Para encontrar a composição química da amostra e realizar o estudo em seus picos característicos, foi realizado a análise com a difratometria de raios X (DRX) e a fluorescência de energia dispersiva de raios X (FRX). Estas ratificaram a presença alta da sílica na estrutura e mostraram que a ativação ácida potencializa o teor dessa composição. Para esse estudo, com as configurações aderidas, obtivemos um resultado de 5,11% e 4,8% no aumento do óxido de sílica, para os dois tempos considerados, e uma redução de 1,1% no teor de alumínio.

Por mais que a temperatura esteja dentro do ponto ótimo e o resultado tenha sido considerável, estima-se que variando o tempo ou a concentração, obtenha-se um teor ainda mais elevado de sílica, entretanto, a aplicação desta vermiculita tratada é quem induz se o resultado obtido foi satisfatório, mesmo se tendo uma visão de que é possível alcançar um percentual ainda maior dos componentes.

METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Desenvolvimento de Novos Materiais (LABNOV), localizado na Unidade Acadêmica de Engenharia Química, no Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande (UAEQ/CCT/UFCG), Paraíba, Brasil.

1 Preparação da Argila Vermiculita

O diagrama apresentado na Figura 1 apresenta o roteiro adotado na elaboração desta pesquisa, onde inicialmente realizou-se o peneiramento e tratamento da argila. Com o término da ativação ácida, o pH da amostra foi equilibrado e realizou-se uma secagem. Por fim, as amostras foram destinadas a caracterização pelos métodos de DRX e FRX.

A argila foi utilizada no seu estado in natura (Figura 1a) e para garantir que a mesma dispusesse de uma única granulometria, foi submetida a técnica do peneiramento, com uma

peneira de 100 mesh (abertura 0,075 mm) uniformizando assim o tamanho da superfície de contato (Figura 1b).

FIGURA 1 – Fotos da vermiculita in natura e triturada.

1 (a) – in natura



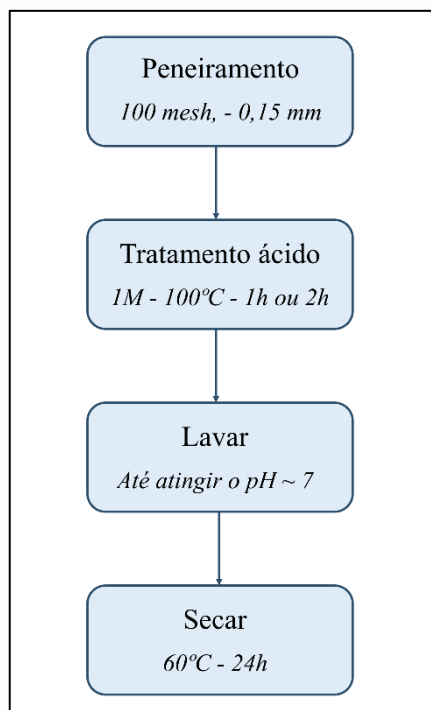
1 (b) - triturada



2 Ativação da argila vermiculita com ácido clorídrico (HCl)

A ativação foi realizada partindo de uma amostra de vermiculita com granulometria de 100 mesh (Figura 1b).

FIGURA 2 – Fluxograma do procedimento da realização da ativação ácida.



Realizou-se o tratamento com ácido clorídrico a 1 mol/L, variando o tempo de reação em busca de analisar a condição mais favorável para a ativação. Foram feitas duas amostras

utilizando da proporção de 1:10 (m/v), mantida sob agitação a 100 ° C. Os tempos de reação utilizados foram de 1 e 2 horas. Em seguida, realizou-se a filtração a vácuo e lavado com água destilada até que se obtivesse um pH mais neutro possível e por fim as amostras foram secas em uma estufa a 60 °C por 24h (ALVES, 2010).

3 Caracterização

➤ *Difração de Raios – X (DRX):*

Para esta análise, utilizou-se um Difratorômetro Shimadzu XRD – 6000 com radiação $\text{CuK}\alpha$, empregando-se o método de varredura que foi exercido com uma velocidade de $2^\circ(2\theta)/\text{min}$, com ângulo 2θ percorrido de 2 a 50° .

➤ *Espectrômetro de Fluorescência de Raios – X (FRX):*

Foi utilizado um espectrofotômetro de raios X por energia dispersiva – S2 Ranger Bruker - que se acordo com Silva (2015) permite identificar e quantificar a composição química global de um sólido.

DESENVOLVIMENTO

No cenário atual do desenvolvimento tecnológico, uma das principais buscas se encontra voltada para a área de metodologias alternativas visando um baixo custo para as diversas aplicações como, por exemplo, utilizada na agricultura, indústria e em processos que favoreçam o meio ambiente (WEGRZYN et al., 2019).

Devido a suas características peculiares – como possuir baixa elasticidade e baixa densidade - que resultam em um grande potencial de adsorção, os argilominerais que são materiais naturais vêm sendo estudados com a finalidade de sua eficiência ser aplicada na remoção de metais pesados, liberação de fármacos, branqueamento do petróleo ou até como fonte de sílica para a síntese de peneiras moleculares (SILVA, 2015).

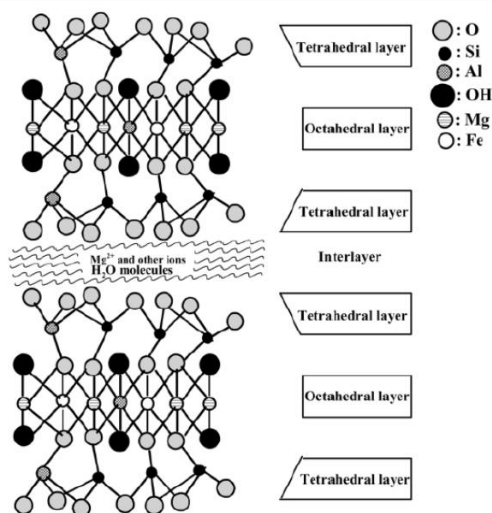
Um exemplo desses argilominerais é a vermiculita que é um silicato hidratado de magnésio, alumínio e ferro de fórmula molecular $[(\text{Mg}, \text{Fe})_3 [(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}] [\text{OH}]_2 4\text{H}_2\text{O}]$, pertencente à família das micas. O termo vermiculita é derivado do latim vermiculus, que significa pequeno verme, fazendo alusão ao comportamento desse material que sob aquecimento, se expande e suas partículas se movimentam de forma similar aos vermes.

É um material escamoso com coloração variável e densidade de 2,5 a $2,7 \text{ g/cm}^3$ (BORBA, 2014). Sua estrutura básica é composta por duas folhas planas de tetraedros de Si e

Al que estão unidas em uma folha octaédrica de hidróxido de Mg, que possui suas hidroxilas substituídas pelo oxigênio apical da folha tetraédrica (SANTOS, 1989).

Sua capacidade de expansão da vermiculita é consequência das unidades de silicatos que constituem sua estrutura, com deficiência de cargas negativas devido a substituições na camada tetraédrica e seus cátions neutralizantes são geralmente magnésio, estando rodeados de hidroxilas. A Figura 3 mostra um esboço da estrutura da vermiculita com esse espaçamento basal e detalha onde os cátions intermelares hidratados estão localizados, esclarecendo essa capacidade de expansão (WEGRZYN et al., 2019).

FIGURA 3 – Estrutura idealizada da vermiculita.



Fonte: (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2008).

Santos (1989) afirma que essa expansão é limitada pelo fato de que é difícil de se encontrar a vermiculita em sua forma pura por se encontrar na natureza em solas intimamente misturado com outros argilominerais. Portanto, a quantidade de água ou de substâncias polares é variável assim como o espaçamento basal.

Logo, quando ela é aquecida - entre 650°C e 1000°C - a água é retirada fazendo com que ocorra a expansão – entre 15 e 25 vezes - e produza uma melhoria nas suas propriedades físicas e em sua área superficial (SANTOS, 1989).

Silva (2006) afirma que a água retirada até 150°C pode ser reversível, ou seja, com a umidade do ambiente ela pode ser reabsorvida sem causar esfoliação. Entretanto, se removida em torno dos 260°C ocorre a esfoliação do Mg-vermiculita e apenas a 870°C é que as hidroxilas são removidas da estrutura.

Segundo Gomide (1998) algumas argilas, quando tratadas com ácido clorídrico ou sulfúrico, fornecem adsorventes com capacidades superiores, em relação a sua composição in natura, em termos de área superficial e de sítios ativos. Essa ativação ácida promove a retirada da matéria orgânica aumentando a área específica e a quantidade de sítios ativos (NOGUEIRA, 2019).

É comum essa modificação nas propriedades dos argilominerais, principalmente quando é realizada através de surfactantes, da ativação térmica ou ácida e o resultado destas alterações é caracterizado pela máxima capacidade de adsorção que é capaz de realizar (STAWINSKI et al., 2018).

Devido ao aumento em seu volume com a expansão, a vermiculita é transportada e comercializada em seu estado natural, comércio este que vem ganhando bastante espaço mundialmente com o crescimento das fontes alternativas. O Brasil ocupa a quarta posição no ranking mundial do comércio de vermiculitas, detêm 11% das reservas mundiais e 6% na produção. Com grande abundância no Brasil, suas maiores reservas neste país são encontradas no Piauí, Goiás, Paraíba e Bahia.

Na Tabela 1 estão dados ilustrativos das composições químicas médias de vermiculitas comerciais brasileiras, além das composições que estão mostradas na Tabela 1 existem composições de óxidos de cálcio, magnésio, tálio, níquel e cromo, entretanto com porcentagens menores que 1%.

TABELA 1 – Composição química (%) média de vermiculitas brasileiras.

| Compostos | Reserva de Santa Luzia (PB) |
|------------------------------------|-----------------------------|
| <i>SiO₂</i> | 42,8 |
| <i>MgO</i> | 19,9 |
| <i>Al₂O₃</i> | 6,8 |
| <i>Fe₂O₃</i> | 6,7 |
| <i>K₂O</i> | 4,6 |
| <i>Na₂O</i> | 1,0 |

Fonte: (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise da Argila Vermiculita após a ativação com Ácido Clorídrico (HCl)

Neste estudo a vermiculita foi analisada antes e após a ativação ácida. Para obter a composição das amostras foi realizada difração de raios X e espectrofotometria de fluorescência de raios X (FRX) e os dados dos principais componentes, ou seja, aqueles com as maiores percentagens de composições, identificados pelo FRX se encontram na Tabela 2.

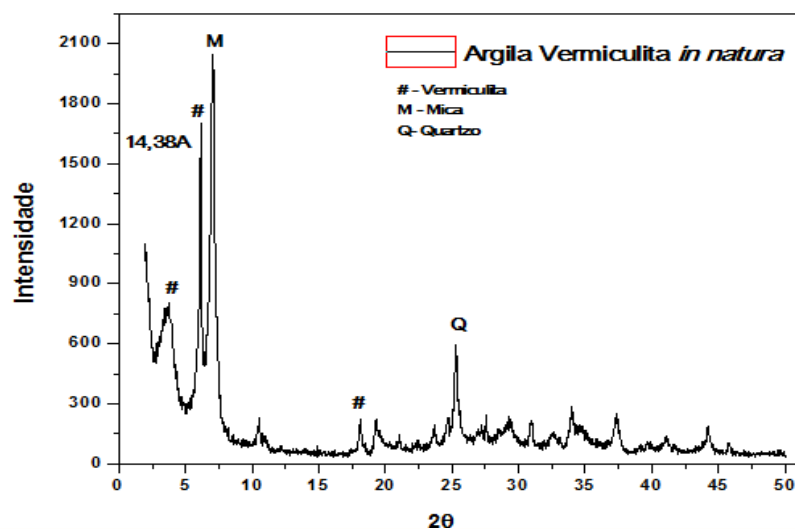
TABELA 2 – Composição da vermiculita in natura e pós ativação ácida com HCl nas seguintes condições: 1 mol/L; 100 C; tempo de reação = 1 e 2 horas.

| | SiO ₂ (%) | MgO(%) | Al ₂ O ₃ (%) | Fe ₂ O ₃ (%) | K ₂ O(%) |
|------------------|----------------------|--------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------|
| <i>in natura</i> | 43,32 | 28,20 | 13,41 | 9,04 | 3,38 |
| Amostra 1 | 48,43 | 23,30 | 12,31 | 9,50 | 3,11 |
| Amostra 2 | 48,12 | 23,20 | 12,32 | 9,81 | 3,20 |

De acordo com os resultados explanados na Tabela 2, podemos analisar que os dados da amostra in natura são condizentes com as composições mostradas na literatura (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2008), sendo observadas algumas variações que são naturais e podem ocorrer devido a fatores como variedade do local de retirada, o método de extração e clima, por exemplo. Além disso, podemos verificar através desta análise química o alto teor de SiO₂, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃ e K₂O, o que não implica dizer que a vermiculita é constituída por esses 5 compostos, mas que estes possuem a maior percentagem na composição da argila.

Portanto realizando a comparação dos dados referentes a ativação com a vermiculita in natura é possível destacar que para tempos reacionais equivalentes a 1 hora e 2 horas, respectivamente, identificou-se um aumento de 5,11 % e 4,80 % para o teor de sílica e 0,46 % e 0,77 % na composição do ferro, reduziu 4,9% e 5% no teor de óxido de magnésio, 1,1% e 1,09 % na percentagem do óxido de alumínio, por fim, 0,27 % e 0,18 % na quantidade de óxido de potássio. Logo, é possível constatar que as condições operacionais são muito importantes. A ativação ácida não depende apenas da concentração do ácido e da temperatura de reação que compõe as condições externas do experimento, mas que o tempo que essa reação irá ocorrer também é significativo para o estudo. Na Figura 4, está apresentado o difratograma da vermiculita in natura.

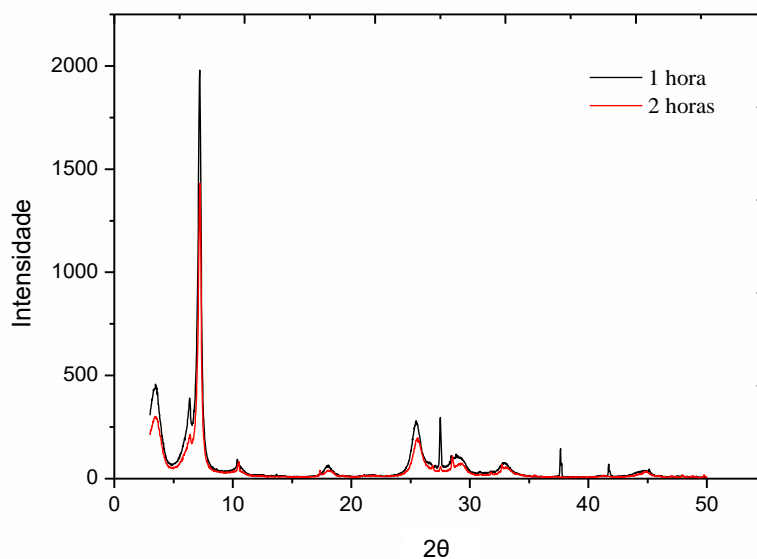
FIGURA 4 – Difratoograma da vermiculita in natura.



A partir do DRX (Figura 4) é possível observar que apresenta um pico característico deste argilo mineral em $2\theta = 6,15^\circ$, com espaçamento basal $d = 14,38 \text{ \AA}$ (NOGUEIRA, 2019), além de dois picos de baixa densidade.

Na Figura 5, está ilustrado o DRX das amostras após ativação com ácido clorídrico com tempos reacionais de 1 hora e 2 horas.

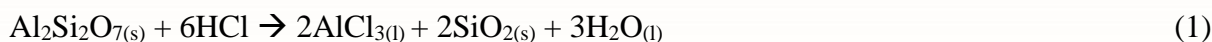
FIGURA 5 – Difratoograma da vermiculita ativada com ácido clorídrico (100°C) com tempos reacionais de 1 hora e 2 horas.



Identifica-se que a amostra ativada por 2 horas reduziu bem mais todos os picos, principalmente o característico, mostrando que houve uma maior quebra na estrutura da

vermiculita. E, além do pico principal, todos os outros picos foram reduzidos, principalmente o pico referente ao quartzo.

Na vermiculita in natura existe o óxido de alumínio (Al_2O_3) e o óxido de silício (SiO_2) e com a ativação ácida deste argilomineral, o alumínio (Al^{+3}) reage com o ácido – de acordo com a reação 1 - sendo dissolvido e, conseqüentemente, diminuindo a sua concentração, em contrapartida, aumentando a concentração de sílica (LIMA, 2016)



Ao ser submetida a ativação ácida, a vermiculita diminui a sua cristalinidade, sua estrutura é rompida pela reação, por isso que os picos tendem a diminuir, logo na amostra que foi tratada por mais tempo esse efeito é ainda maior, possuindo picos menores se comparado as outras duas amostras (STAWINSKI et al., 2018).

Portanto, foi mostrado neste trabalho que o parâmetro tempo reacional possui influência nas características da argila vermiculita, tendo em vista que houveram mudanças significativas nos resultados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o estudo realizado com a ativação com ácido clorídrico, na vermiculita, obteve-se uma potencialização de sílica 5 % uma redução no teor de óxido de alumínio de 1 %.

Foi mostrado neste trabalho que o tempo reacional é um parâmetro preponderante na ativação ácida.

REFERÊNCIAS

A. K. F. Sousa, Patrícia Noemia Mota de Vasconcelos, Wellington Siqueira Lima, M. M. Silva, Meiry Gláucia Freire Rodrigues, Influência do tempo de reação na ativação ácida da argila Brangel, Congresso Iberoamericano de Catálisis, Santa Fé, Argentina, 2012.

ALVES, A. P. M; GERMANO, A. F. S; ARAKAKI, L. N. H; FONSECA, M. G; ARAUJO, A. S. **Influência da ativação ácida na estabilidade térmica de híbridos vermiculite/epóxico.** In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ANÁLISE TÉRMICA E CALORIMETRIA, 2010, São Pedro – SP – Brasil.

BORBA, L. L. S. **Tratamento superficial de argilas com cera de carnaúba e microemulsão de óleo de coco.** 2014. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, 2014.

F. M. N. Silva, E. L. da Silva; I. F. dos Anjos; G. Fontgalland; M. G. F. Rodrigues, **CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA VERMICULITA NATURAL, EXPANDIDA POR MÉTODO INDIRETO E POR ENERGIA DE MICRO-ONDAS, 58º Congresso Brasileiro de Cerâmica 18 a 21 de maio de 2014, Bento Gonçalves, RS, Brasil.**

F. M. N. Silva¹; J. R. Scheibler; E. L. da Silva; M. A. da Silva; M. G. F. Rodrigues, **MODIFICAÇÃO DA ARGILA VERMICULITA COM SURFACTANTE PARA SER UTILIZADA COMO ADSORVENTE EM SOLVENTES ORGÂNICOS, X Encontro Brasileiro sobre Adsorção, Guarujá, 2014.**

GOMIDE, R. Operações Unitárias. 1ª Edição, São Paulo: Reynaldo Gomide (Edição do Autor), v. 4, p. 311-331, 1988.

J. R. Scheibler; K. R. M. Ferreira; M. G. F. Rodrigues; M. A. Silva, **modificação química da argila vermiculita para uso como catalisador em reações de craqueamento termocatalítico de óleos vegetais. 58º Congresso Brasileiro de Cerâmica 18 a 21 de maio de 2014, Bento Gonçalves, RS, Brasil.**

LIMA, Paula Elissa Antonio de. **Caulim calcinado: estudo cinético da dissolução do alumínio em meio ácido e aplicação como precursor na produção de sílica porosa.** 2016. Tese (Doutorado em Geoquímica e petrologia) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

LIMA, W. S.; BRITO, A. L. F.; RODRIGUES, M. G. F.; MOTA, M. F.; SILVA, M. M. Characterization of National Clays After Acid Treatment and Thermal. Florianópolis, PTECH 2011

LIMA, W. S; BRITO, A. L. F; RODRIGUES, M. G. F; MOTA, M. F; M. M. SILVA, Characterization of National Clays After Acid Treatment and Thermal, Materials Science Forum, v. 805 (2015) p 662-666.

LIMA, W. S; BRITO, A. L. F; RODRIGUES, M. G. F; MOTA, M; F; SILVA, M. M. **Characterization of national clays after acid treatment and thermal**, Materials Science Forum, 2015.

M. M. da Silva¹; A. K. F. de Sousa¹; W. S. Lima¹; P. N. M. de Vasconcelos¹; M. G. F. Rodrigues¹; **ATIVACÃO ÁCIDA DE ARGILAS NATURAIS VISANDO SUA APLICAÇÃO NA ADSORÇÃO**, 56 Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2012.

M.G.F. Rodrigues: Physical and catalytic characterization of smectites from Boa-Vista, Paraíba, Brazil Cerâmica. Vol. 49, (2003), p. 146-150.

Marcílio M. da Silva, Patrícia N. M. Vasconcelos, Anna K. F. de Sousa, Wellington S. Lima, Meiry G. F. Rodrigues, Modificação térmica da argila Brasgel para remoção de contaminantes de efluentes, Encontro Brasileiro sobre Adsorção (EBA 9), Simpósio Ibero-americano sobre adsorção (IBA 1) 2012.

MORAES, Dorsan S; RODRIGUES, E.M.S; LAMARÃO, C.; MARQUES, G.T; RENTE, A.F.S. New sodium activated vermiculite process. Testing on Cu²⁺ removal from tailing dam waters. **Journal of Hazardous Materials**, [S. l.], 21 nov. 2018.

NOGUEIRA, A. C; BARBOSA, T.S.B; BARROS, T.R.B; RODRIGUES, M.G.F. **Caracterização e aplicação das argilas Vermiculita e Esmectítica na adsorção de corantes da indústria têxtil**, Congresso Brasileiro de Catálise, São Paulo, p. 1-6, 2019. (Aceito).

PEREIRA, K. R. O.; RODRIGUES, M. G. F.; VALENZUELA-DIAZ, F. R. Obtenção e caracterização de materiais argilosos quimicamente ativados para utilização. Cerâmica, v. 56, p. 260 - 263, 2006.

QUARTARONE, Priscila; NEVES, Márcia Angélica F. S.; CALDAS, Luiz Fernando S. **Estudo da vermiculita como adsorvente de íons cobre (II) em solução aquosa.**, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, campus Nilópolis, RJ, 2012.

RODRIGUES, M. G. F.; MENEZES, R. R.; SILVA, A. A. Caracterização da argila caulínica de Alhandra - PB tratada quimicamente e termicamente. 46° Congresso Brasileiro de Cerâmica, São Paulo, 2002.

RODRIGUES, M. G. F.; Oliveira, M. D.; PEREIRA, K. R. O.; FREIRE, W. A. Ativação ácida de argila bentonítica com HCl. 47 Congresso Brasileiro de Cerâmica, João Pessoa, 2003.

RODRIGUES, M. G. F.; Oliveira, M. D.; SILVA, M. L. P. Argila bofe destinada à aplicação como catalisador: tratamento químico e térmico. 48° Congresso Brasileiro de Cerâmica, Curitiba, 2004.

RODRIGUES, M. G. F.; Oliveira, M. D.; SOUSA, B. V.; GONZAGA, A. C. Efeito da concentração do ácido usado na ativação da argila bofe. XV Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, Porto Alegre, 2004.

RODRIGUES, M. G. F.; SILVA, M. L. P.; Oliveira, M. D.; FERREIRA, H. S. Caracterização da argila bentonítica submetida a tratamentos térmicos e químicos por FRX, DRX e ATD. 48º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Curitiba, 2004.

RODRIGUES, M. G. F.; SOUSA, B. V.; BAZANTE, A.; GONZAGA, A. C. Efeito da natureza do ácido na estrutura da argila de Wyoming. 48º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Curitiba, 2004.

RODRIGUES, M. G. F. Physical and catalytic characterization of smectites from Boa-Vista, Paraíba, Brazil. *Cerâmica*, v. 49, p.146-150, 2003.

SANTOS, Pêrsio de Souza. **CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ARGILAS**. São Paulo - SP - Brasil: EDGARD BLÜCHER LTDA, 1989.

SILVA, Heloisa Helena Azevedo Barbosa da. **Caracterização Mineralógica e filiação da vermiculita da mina cerrado III - SANCLERLÂNCIA - GO**. 2006. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2006. *E-book*.

SILVA, José Vanderley do Nascimento. **REMOÇÃO DE METAIS PESADOS (CD, PB, ZN) UTILIZANDO COMO ADSORVENTES ARGILAS NACIONAIS: CHOCOBOFE E CHOCOLATE B**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba,

SILVA, M. M.; Patrício, A. C. L.; LIMA, W. S.; RODRIGUES, M. G. F.; LABORDE, H. M. Thermal and acid activation in Green Clay, Paraíba, Brasil. Florianópolis, PTECH 2011.

SOUSA, Anna Karoline Freire de *et al.* **Influência do tempo de reação na ativação ácida da argila Brasgel visando seu uso como catalisador**. In: IX ENCONTRO NORTE, NORDESTE E CENTRO - OESTE DE CATÁLISE, 2012, Maceió - Alagoas. [S. l.: s. n.], 2012.

STAWINSKI, W; WEGRZYN, A; MORDARSKI, G; SKIBA, M; FREITAS, O; FIGUEIREDO, S. **Sustainable adsorbents formed from by-product of acid activation of vermiculite and leached-vermiculite-LDH hybrids for removal of industrial dyes and metal cations**, *Applied Clay Science*, v. 161 p. 6 – 14, 2018.

UGARTE, J. F. de O; SAMPAIO, J. A; FRANÇA, S. C. A. Vermiculita. In: ROCHAS e Minerais Industriais. CETEM: [s. n.], 2008.

WGRZYN, A; STAWINSKI, W; FREITAS, O; KOMEDERA, K; BLACHOWSKI, A; JECZMIONEK, L; DANKO, T; MORDARSKI, G; FIGUEIREDO, S. **Study of adsorptive materials obtained by wet fine milling and acid activation of vermiculite**, Applied Clay Science, p. 37-49, 2019.