

## CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DE HIDROMICAS MODIFICADAS VISANDO APLICAÇÃO EM ADSORÇÃO DE AGENTES POLUENTES

*Claudia Maria de Oliveira Raposo<sup>1</sup>; Maria do Socorro de Melo Albuquerque<sup>2</sup>  
Alinne Marianne Martins de Araújo<sup>2</sup>*

**RESUMO** - Pertencente à classe mineral dos silicatos, grupo das hidromicas, a vermiculita apresenta estrutura em camadas do tipo tetraédrica-octaédrica-tetraédrica. Possui elevada capacidade de troca catiônica na faixa de 100 a 200 meq.100 g<sup>-1</sup> consequência dos íons metálicos hidratados, ionicamente trocáveis localizados na região entre as camadas. Características físicas excepcionais são adquiridas após expansão térmica e um aumento de volume em torno de 10 a 12 vezes o volume deste na condição *in natura* tem possibilitado o uso em diversas áreas da engenharia. A preocupação atual relativa à disponibilidade de água com padrão potável em um futuro próximo, tem norteado pesquisas no trato dos efluentes aquosos poluentes cujos efeitos causados ao ecossistema são marcadamente drásticos. Diante desta problemática e buscando elaborar um material que possa minimizar os impactos ambientais causados por agentes poluentes descartados na natureza, propomos neste trabalho avaliar vermiculitas, frações média, *in natura*, cedidas pela Eucatex Mineração do Nordeste – Piauí, Brasil e pela União Brasileira de Mineração – Paraíba, Brasil, e, após serem esfoliadas e organofuncionalizadas, visando aplicação diferencial como agente de adsorção. Os resultados obtidos por difração de raios X evidenciaram a presença de distintas fases minerais nas amostras *in natura* assim como para as amostras esfoliadas organofuncionalizadas. Para as amostras tratadas, termicamente organofuncionalizadas, um considerável ganho do espaço basal foi registrado associado a uma ordem estrutural melhor estabelecida sugerindo possibilitar uma aplicação diferencial na adsorção de agentes poluentes provenientes de fontes quaisquer.

**Palavras-chave:** Filossilicato; esfoliação; meio ambiente; processos.

## CHARACTERIZATION MICROSTRUCTURAL OF MODIFIED HIDROMICAS AIMING FOR ADSORPTION AGENTS OF POLLUTANTS

**ABSTRACT** - Belonging to the class of mineral silicates, the hidromicas group, the vermiculite has layered structure type tetrahedral-octahedral-tetrahedral. It has high cation exchange capacity in the range from 100 to 200 meq.100 g<sup>-1</sup> result of hydrated metal ions, ionic exchangeable in the region located between the layers. Physical characteristics are acquired after exceptional thermal expansion and an increase in volume of around 10 to 12 times the volume of the fresh condition has allowed the use in various areas of engineering. Current concerns about the availability of drinking water standard in the near future, has guided research in the treatment of aqueous effluent pollutants whose effects caused to the ecosystem are remarkably dramatic. Faced with this problem and sought to develop a material that can minimize the environmental impacts caused by pollutants discharged into nature, we propose in this work was to evaluate vermiculite, fractions average, in nature, provided by the Northeast Eucatex Mining – Piauí, Brazil and the Brazilian Union of Mining – Paraíba, Brazil and, after being exfoliated and organic modified in order to apply differential adsorption agent. The results obtained by X-ray diffraction showed the presence of different mineral phases in the samples as well as for fresh samples organically treated exfoliated. For samples exfoliated organically modified, a considerable gain of basal space was recorded associated with a better structural order established suggesting a possible application in the differential adsorption of pollutants from any source.

**Keywords:** Phyllosilicate; exfoliation; environment; process.

<sup>1</sup>Professor Associado II, DSc. UAMG/CTRN/UFCG.

E-mail: [raposo@dmg.ufcg.edu.br](mailto:raposo@dmg.ufcg.edu.br)

<sup>2</sup>Graduanda de Engenharia de Minas. UAMG/CTRN/UFCG.

## INTRODUÇÃO

Pertencente ao grupo das hidromicas, as vermiculitas são formadas por mudanças secundárias, particularmente, de flogopita e de biotita (Gordeeva *et al.*, 2002). O Brasil, em relação à produção mundial deste mineral, ocupa o quinto lugar como produtor no mundo correspondendo a 15 % da produção total sendo detentor de 10 % das reservas mundiais registradas. A produção de concentrados no país é realizada em três pólos distintos distribuídos em Goiás, na Paraíba e na Bahia (Sznelwar e Scalabrin, 2009).

Os depósitos de vermiculita, tanto do estado do Piauí quanto do estado da Paraíba, estão localizados na região do semi-árido do nordeste brasileiro, Planalto Nordestino, com formação de granito e rochas metamórficas correspondendo a 36 % do território brasileiro caracterizando os escudos cristalinos (Righetto, 2009; DNPM, 2001; Chui, 2005), Figura 1a, e se constituem de corpos rochosos básicos e ultrabásicos (Souza e Silva, 2010). A amostra de minério proveniente do estado do Piauí, município de Queimada Nova, coordenadas 08°34'12"S e 41°25'15"O, Figura 1b e, em destaque Figura 1c, caracteriza-se pela predominância de vermiculita e minerais associados como hidrobiotita, caulinita, montmorilonita, augita, diopsídio, enstatita, tremolita, microclínio, albita e também carbonatos como calcita, dolomita e siderita (Sznelwar e Scalabrin, 2009).

As vermiculitas da região de Santa Luzia-PB, coordenadas 06°52'01"S e 36°55'15"O, Figura 1d, apresentam-se em camadas mistas interestratificadas de vermiculita, principalmente, com outras fases mineralógicas tais como: hidrobiotita, talco, biotita, flogopita, serpentina, diopisídio, horblenda, microclínio, carbonatos na forma de calcita e dolomita e óxidos de ferro, em quantidades discretas, devido à presença de goethita. A formação desse mineral pode ocorrer por intemperismo ao longo da zona de falha, em uma profundidade de 100 m ou por alteração hidrotermal, a temperatura menor do que 350°C, de carbonatitos, piroxenito, peridotitos, dunitos, e anfibolitos separados por granodioritos e pegmatitos. As vermiculitas reconhecidamente de boa qualidade são aquelas resultantes da alteração de flogopita e de biotita cujas partículas apresentam-se em granulometria grossa. As demais fases presentes tidas como impurezas, se em teores elevados, podem atuar como interferentes no processo de expansão térmica da referida amostra mineral (DNPM, 2001; Ugarte e Monte, 2004; Chui, 2005; França, Arruda e Ugarte, 2006; Ugarte e Monte, 2004; Tjong, Meng e Hay 2002).

Do ponto de vista da estrutura cristalográfica a vermiculita se constitui de lamelas elementares tetraédricas de silício-oxigênio e uma lamela de grupos hidroxílicos e íons, magnésio ou alumínio, distribuídos octaédricamente, formando uma camada. Entre as camadas íons metálicos hidratados, duplamente carregados e ionicamente trocáveis, capacidade de troca iônica entre 100 e 200 meq.100 g<sup>-1</sup>, são responsáveis pelo equilíbrio elétrico do sistema (Gordeeva *et al.*, 2002). Possuem elevada área superficial associada à porosidade, à carga superficial negativa e hidrofobicidade, são inodoras e não carcinogênicas (Uehara *et al.*, 1999; Tjong, Meng, Hay, 2002; Fonseca *et al.*, 2006; Hernández *et al.*, 2008). Na forma esfoliada, cuja temperatura de tratamento térmico varia entre 750 e 1100°C, este mineral tem um aumento de volume em torno de 10 a 12 vezes o seu volume na condição *in natura* e então, adquire características físicas excepcionais de flutuação, de isolamentos, térmico e acústico, de resistências ao fogo e à formação de rachaduras e enrugamentos, de adesão, de esterilidade e, é um excelente agente de troca iônica, de adsorção e de carregamento (Machado, 2006; Kehal, Reinert, Duclaux, 2010; Liu, Zheng, Wang, 2010; Gomes, 1988, p.280).

As aplicações industriais são favoráveis às vermiculitas do tipo macro cujas principais jazidas encontradas no Brasil estão nos estados de Goiás, da Bahia, do Piauí, da Paraíba e do Paraná (Sumário Mineral, 2001). Investimentos no país para ampliar a capacidade produtiva, não somente internamente, nas formas, natural e esfoliada, mas, sobretudo favorecendo as exportações para os mercados, europeu e americano do norte, têm sido um desafio e propósito para um futuro próximo (Sznelwar e Scalabrin, 2009).

A preocupação atual relativa à disponibilidade de água com padrão potável em um futuro próximo, tem norteado pesquisas no trato dos efluentes aquosos poluentes cujos efeitos causados ao ecossistema são marcadamente drásticos (Medeiros–Leitão, acesso em 2011). Diante desta problemática e buscando elaborar um material que possa minimizar os impactos ambientais causados por agentes poluentes descartados na natureza, propomos neste trabalho avaliar vermiculitas, frações média, *in natura*, selecionadas pela

importância comercial no mercado nacional, cedidas pela Eucatex Mineração do Nordeste/Piauí/Brasil e pela União Brasileira de Mineração/Paraíba/Brasil, e, após serem esfoliadas e organofuncionalizadas, visando aplicação diferencial como agente de adsorção de agentes poluentes descartados na natureza.

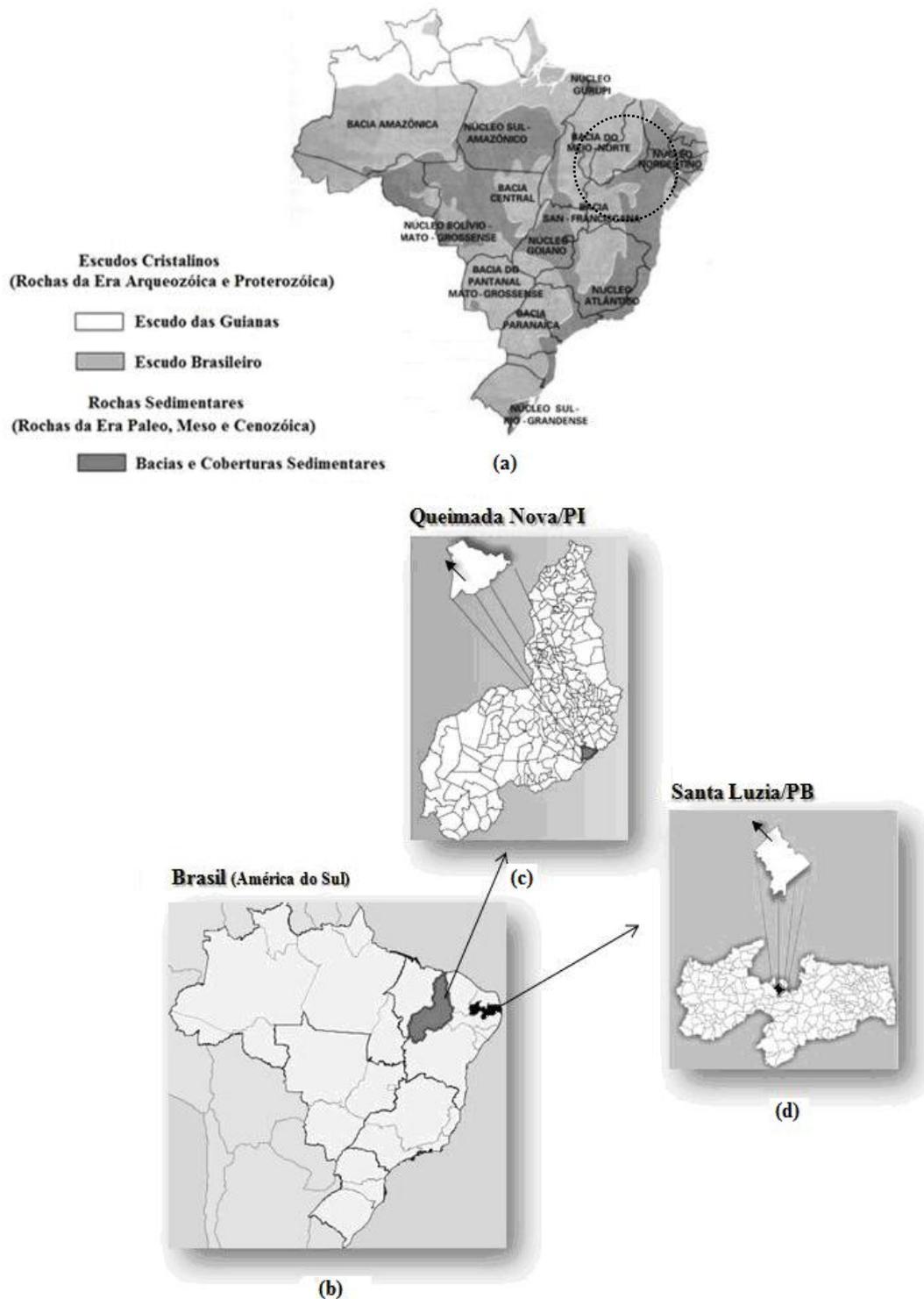


Figura 1 – Infográfico: (a) escudos cristalinos; (b) mapa do Brasil com a localização da Paraíba e do Piauí, Estados do Nordeste brasileiro, destacando as regiões de Queimada Nova-PI e de Santa Luzia-PB, (c) e (d), respectivamente (sites: CPRM; vitoriaregia. Acesso em 2011).

## MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de vermiculita, frações média, (-4+2) mm, foram fornecidas pela Eucatex Mineração do Nordeste-EUCATEX e pela União Brasileira de Mineração-UBM. No Laboratório de Tratamento Minérios da UAMG/CTRN/UFMG foram realizados os processos de amostragem e de tratamentos para remoção dos minerais associados e de modificação térmica, esfoliação a  $950^{\circ}\text{C} \cdot 2 \text{ min}^{-1}$ . As amostras então cedidas para a realização deste trabalho foram codificadas como  $\text{VM}_{\text{XY}}$  e  $\text{VME}_{\text{Y}}$ . Vermiculita média, VM, e vermiculita média esfoliada, VME, os subscritos: x indica que a amostra está em seu estado natural e y informa a empresa fornecedora do mineral. A granulometria dos pós foi padronizada em peneira malha 200, ABNT, correspondente a partículas com diâmetro médio de 75  $\mu\text{m}$ .

### Modificação Orgânica das Amostras Mineraias

A modificação orgânica dos minerais tratados termicamente,  $\text{VME}_{\text{Y}}$ , foi realizada com o surfactante, brometo de cetil trimetil amônio, Vetec, comercialmente denominado de cetremide, em quantidade equivalente à capacidade de troca iônica máxima das referidas amostras,  $2 \text{ meq} \cdot \text{g}^{-1}$  para a  $\text{VM}_{\text{UBM}}$  e de  $1,8 \text{ meq} \cdot \text{g}^{-1}$  para a  $\text{VM}_{\text{EUCATEX}}$ , avaliada de acordo com a literatura (Chen *et al.*, 1974). O procedimento de modificação orgânica foi conduzido à temperatura ambiente e sob agitação constante tendo como base trabalho prévio (Rapôso, 2001). As amostras foram denominadas de  $\text{VME}_{\text{X'Y}}$ , vermiculita média esfoliada, o subscrito x' indica a modificação orgânica e y identifica a empresa que forneceu a amostra mineral. O padrão de granulometria anteriormente estabelecido, 200 malhas, foi também mantido para esses pós.

### Difração de Raios X

Os difratogramas foram obtidos usando-se um equipamento XRD-6000 SHIMADZU. As amostras, filossilicatos, foram analisadas pelo método do pó usando-se radiação de  $\text{Cu-K}\alpha$  de comprimento de onda de  $1,5406 \text{ \AA}$ , filtro de níquel, varredura em um intervalo de  $2^{\circ} \leq 2\theta \leq 60^{\circ}$ , passo de  $0,02 \cdot \text{seg}^{-1}$ , step de  $2^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  e fendas Soller.

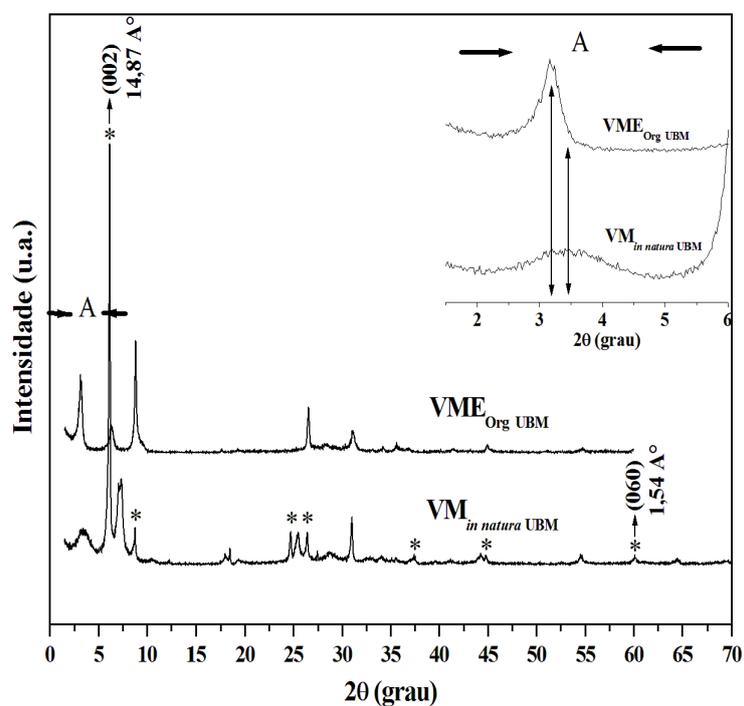
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os perfis das fases das amostras,  $\text{VM}_{\text{in naturaUBM}}$  e  $\text{VME}_{\text{OrgUBM}}$ ,  $\text{VM}_{\text{in naturaEUCATEX}}$  e  $\text{VME}_{\text{OrgEUCATEX}}$ , foram avaliados por difração de raios X e estão apresentados nas Figuras 2(a) e 2(b), respectivamente. Observam-se para as amostras,  $\text{VM}_{\text{in naturaUBM}}$ , Figura 2a, e  $\text{VM}_{\text{in naturaEUCATEX}}$ , Figura 2b, espaçamentos basais em torno de 14,87 e 13,95  $\text{Å}$ , respectivamente, indicando a presença de espécies catiônicas hidratadas distribuídas entre as camadas ou lamelas tipo t-o-t. Confirma-se a presença de distintas fases associadas à vermiculita, registradas em ambas as amostras *in natura* estando estes dados de acordo com a literatura (Sznclwar, 2009; Sumário Mineral, 2001). A reflexão do plano (060),  $\text{VM}_{\text{in naturaUBM}}$ , Figura 2a, corresponde a uma distância interplanar de 1,54  $\text{Å}$  caracteriza um mineral trioctaedral, íon  $\text{Mg}^{2+}$  coordenador predominante, localiza-se entre as folhas de siloxanas em coordenação octaédrica (Mouzdahir *et al.*, 2009; Hudson *et al.*, 1999; Haro *et al.*, 2005).

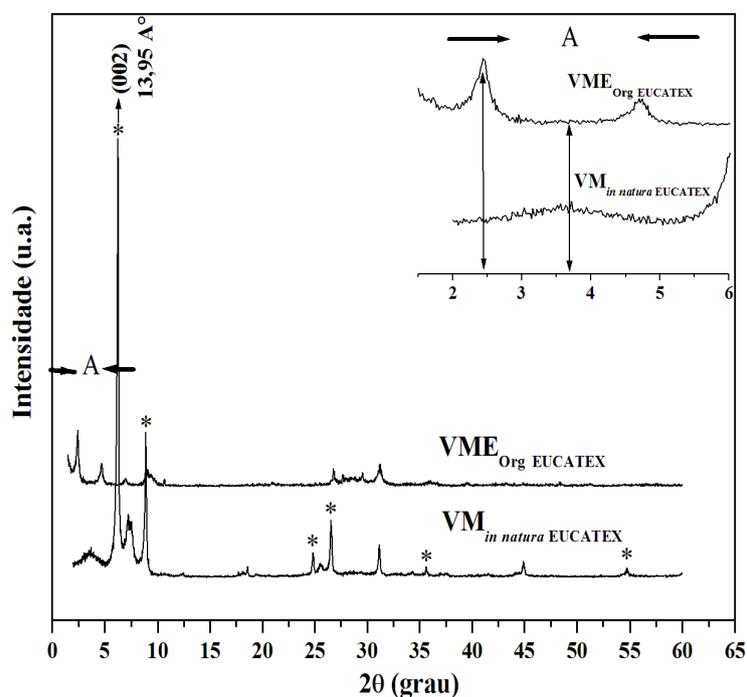
As distinções de fases observadas claramente nos difratogramas das amostras *in natura*, não são registradas nas amostras termicamente modificadas organofuncionalizadas, no entanto, discordâncias quanto às intensidades são marcadamente evidenciadas, Figuras 2 (a) e 2(b). As reflexões registradas para valores de  $2\theta$  de  $3,16^{\circ}$  e de  $2,46^{\circ}$  caracterizam distâncias interplanares de 27,94 e 35,88  $\text{Å}$ ,  $\text{VME}_{\text{OrgUBM}}$  e  $\text{VME}_{\text{OrgEUCATEX}}$ , respectivamente, correspondendo a um ganho significativo do espaço entre as camadas de aproximadamente 2 vezes e 2-1/2 vezes quando comparadas aos resultados apresentados das referidas amostras na forma *in natura* indicando uma interação Coulombiana mineral/contraión enfraquecida e portanto, uma resposta significativa ao procedimento de modificação orgânica adotado. Os dados obtidos foram tratados pelo software Origin versão 7.5.

Os valores do grau de cristalinidade das amostras,  $\text{VME}_{\text{OrgUBM}}$  e  $\text{VME}_{\text{OrgEUCATEX}}$ , estão apresentados na Tabela 1. Os diferentes valores observados para as amostras, tanto nas formas naturais quanto nas formas

esfoliadas organofuncionalizadas podem estar associados, provavelmente, à geologia de formação destes os quais respondem diferentemente diante dos processos aplicados.



(a)



(b)

Figura 2 - Difratomogramas das vermiculitas, frações média: (a) *in natura* e esfoliada modificada organicamente cedida pela UBM e (b) *in natura* e esfoliada modificada organicamente cedida pela EUCATEX, secas a 60°C. \* reflexões de vermiculita.

As amostras,  $VME_{OrgUBM}$  e  $VME_{OrgEUCATEX}$ , apresentam-se, com base nos dados, como materiais mais ordenados, do ponto de vista cristalográfico, quando comparados aos similares *in natura*. Esses dados, correlacionados com os resultados de difração de raios X apresentados, Figuras 3(a) e 3(b), sugerem que a reação de intercalação é, provavelmente, responsável pela redução substancial da desordem de empacotamento nessas vermiculitas. Tal fato está também suportado pela literatura (Slade *et al.*, 1987). Os tamanhos de cristalitos, avaliados pela equação de Scherrer, apresentam-se reduzidos para as amostras modificadas, Tabela 2, evidenciando, também, a influência dos tratamentos, térmico e orgânico, adotados (Allen *et al.*, 2009).

$$d(2\theta_{hkl}) = K \cdot \lambda / (B_{1/2} \cos \theta_{hkl})$$

Equação 1

sendo:

$d$  = dimensão do cristal perpendicular ao plano hkl de difração

$B_{1/2}$  = largura da linha à meia altura

$\theta_{hkl}$  = ângulo de Bragg

$K$  = constante de Scherrer

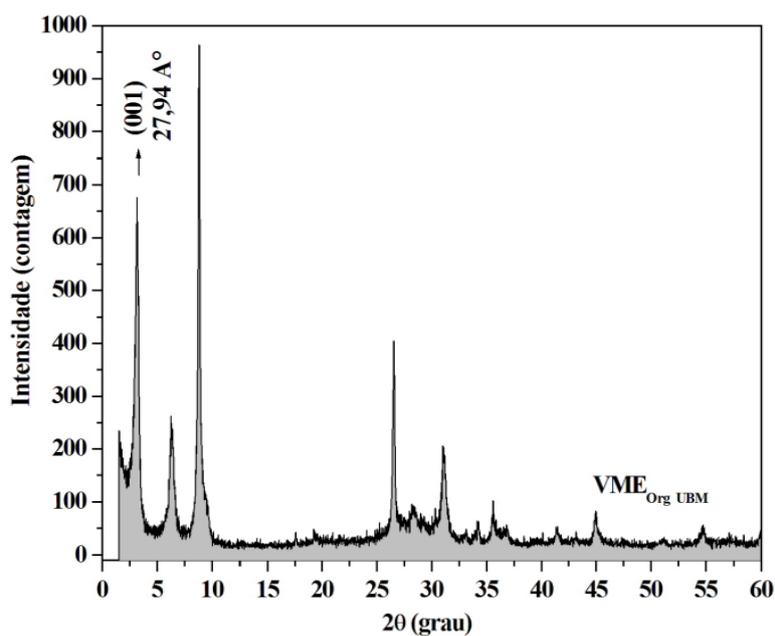
$\lambda$  = comprimento de onda da radiação usada

Tabela 1 – Grau de cristalinidade das vermiculitas *in natura* e esfoliadas modificadas organicamente.

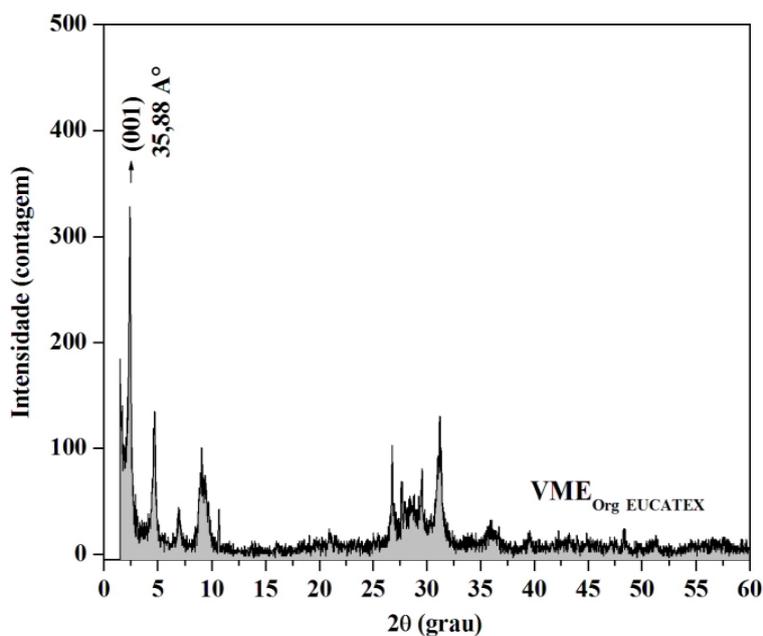
Amostra	Grau de cristalinidade (%)
$VMN_{UBM}$	85,94
$VME_{ORG UBM}$	99,23
$VMN_{EUCATEX}$	78,40
$VME_{ORG EUCATEX}$	98,69

Tabela 2 – Tamanho de cristalito das vermiculitas *in natura* e esfoliadas modificadas organicamente calculado com base na equação de Scherrer.

Amostra	Tamanho de cristalito
$VMN_{UBM}$	62 nm
$VME_{ORG UBM}$	13 nm
$VMN_{EUCATEX}$	49,5 nm
$VME_{ORG EUCATEX}$	34,3 nm



(a)



(b)

Figura 3 - Difratoogramas das vermiculitas, frações média, esfoliadas e modificadas organicamente cedidas pela UBM (a) e pela EUCATEX (b), secas a 60°C.

## CONCLUSÕES

Foi registrado por difração de raios X para os novos materiais, vermiculitas esfoliadas organicamente modificadas, um ganho significativo do espaçamento basal associado a uma periodicidade melhor distribuída, evidenciada pelo percentual de cristalinidade reportado e, cristalitos em escala nanométrica. As características finais dos sólidos preparados sugerem possibilitar uma resposta significativa ao processo de adsorção minimizando assim os impactos ambientais causados por agentes poluentes quaisquer descartados na natureza.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos Laboratórios de Tratamento de Minérios da UAMG/CTRN/UFMG e de Caracterização de Materiais da UAEMA/CCT/UFMG pelo apoio na realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- Benna, M.; Kbir-Arighuib, N.; Clinard, C.; Bergaya, F. (2001). Static Filtration of Purified Sodium Bentonite Clay Suspensions. Effect of Clay Content. *Appl. Clay Sci.*, 19:103-120.
- Burton, A. W.; Ong, K.; Rea, T.; Chan, I. Y. (2009). On the Estimation of Average Crystallite Size of Zeolites from the Scherrer Equation: A Critical Evaluation of Its Application to Zeolites With One-Dimensional Pore Systems. *Microporous and Mesoporous Materials*, 117:75–90.
- Chen, T. J.; Santos, P. S.; Ferreira, H. C.; Zandonadi, A. R.; Calil, S. F.; Campos, L. V. (1974). Determinação da Capacidade de Troca de Cátions e da Área Específica de Algumas Argilas e Caulins Cerâmicos Brasileiros pelo Azul de metileno e sua Correlação com Algumas Propriedades Tecnológicas. *Cerâmica*, 20(79):305-327.
- Chui, Q. S. H. (2005). Uso de Vermiculita Massapé Paulistana como Adsorvedora de Metais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 10(1):58-63.
- Fonseca, M. G.; Wanderley, A. F.; Sousa, K. Arakaki, L. N. H.; Espinola, J. G. P. (2006). Interaction of Aliphatic Diamines with Vermiculite in Aqueous Solution. *Applied Clay Science*, 32(1-2):94-98.
- França, S. C. A., Arruda, G. M.; Ugarte, J. F. O. (2006). Desenvolvimento Tecnológico Para as Vermiculitas Brasileiras. Relatório Técnico, *CETEM/MPEG/MCT*.
- Gomes, C. F. (1988). *Argilas – O que são e para que servem*. 1.ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. cap. XV, p.280.
- Gordeeva, L. G.; Moroz, E. N.; Rudina, N. A.; Aristov, Y. I. (2002). Formation of Porous Vermiculite Structure in the Course of Swelling. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 75(3):357-361.
- Haro, M. C. J.; Pérez-Rodríguez, J. L.; Poyato, J.; Pérez-Maqueda, L. A.; Ramirez-Valle, V.; Justo, A.; Lerf, A.; Wagner, F. E. (2005). Effect of Ultrasound on Porous Materials from Vermiculite. Preparation of Porous Materials from Vermiculite. *Appl. Clay Science*, 30:11-20.
- Hernández, W. Y.; Centeno, M. A.; Odriozola, J. A.; Moreno, S.; Molina, R. (2008). Acidity Characterization of a Titanium and Sulfate Modified Vermiculite. *Mat. Research Bull.*, 43:1630–1640.
- <http://pt.wikipedia.org/wiki/Geomorfologia>. Acesso em: 18/04/2011.
- <http://www.brasilecola.com/brasil/estrutura-geologia-brasil.htm>. Acesso em: 18/04/2011.
- Hudson, E. A.; Terminello, L. J.; Viani, B. E.; Denecke, M.; Reich, T.; Allen, P. G.; Bucher, J. J.; Shuh, D. K.; Edelstein, N. M. (1999). The Structure of  $U^{6+}$  Sorption Complexes on Vermiculite and Hydrobiotite. *Clays and Clays Minerals*, 47(4):439-457.
- Kehal, M.; Reinert, L.; Duclaux, L. (2010). Characterization and Boron Adsorption Capacity of Vermiculite Modified by Thermal Shock or  $H_2O_2$  Reaction and/or Sonication. *Applied Clay Science*, 48:561–568.
- Liu, Y.; Zheng, Y.; Wang, A. (2010). Enhanced Adsorption of Methylene Blue from Aqueous Solution by chitosan-g-poly (acrylic acid)/vermiculite Hydrogel Composites. *Journal of Environmental Sciences*, 22(4):486–493.
- Machado, L. C. R.; Lima, F. W. J.; Paniago, R.; Ardisson, J. D.; Sapag, K., Lago, R. M. (2006). Polymer Coated Vermiculite-iron Composites: Novel Floatable Magnetic Adsorbents for Water Spilled Contaminants. *Applied Clay Science*, 31:207–215.

- Medeiros-Leitão, S. A Visão da Água: O Desafio do Milênio. Instituto Nacional de Ensino e Tecnologia INETEC. <http://www.inetec.org.br/principal>. Acesso em: 10/08/2011.
- Mouzdahir, Y. El.; Elmchaouri, A.; Mahboub, R.; Gil, A.; Korili, S. A. (2009). Synthesis of Nano-layered Vermiculite of Low Density by thermal Treatment. *Powder Technology*, 189:2-5.
- Rapôso, C. M. O. (2001). Intercalação do Alfa-Fosfato de Zircônio Monohidratado com os Cátions Cromo (III), Cobre (II) e Níquel (II): Aplicação em catálise Heterogênea. Rio de Janeiro-RJ, 134p. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Química Inorgânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Righetto, J. P. Rochas. <http://www.mundovestibular.com.br/articles/7228/1/Rochas/Paacutegina1.html>. Acesso em: 18/04/2011.
- Slade, P. G.; Dean, C.; Schultz, P. K.; Self, P. G. (1997). Crystal Structure of a Vermiculite-Anilinium Inercalate. *Clays and Clay Minerals*, 33(3):177-188.
- Souza, V. L. E. S.; Siva, G. R. (2010). Agrominerais para o Brasil. *CETEM/MCT*.
- Sumário Mineral. (2001). *DNPM*, Brasília-DF.
- Sznelwar, J. J.; Scalabrin, R. (2009). Perfil da Vermiculita, *Relatório Técnico*, 48.
- Tjong, S. C.; Meng, Y. Z.; Hay, A. S. (2002). Novel Preparation and Properties of Polypropylene-Vermiculite Nanocomposites. *Chemical Materials*, 14:44-51.
- Uehara, M.; Yamzaki, A; Umezawa, T.; Takahashi, K.; Tsutsumi, S. A Nickel (1999). Hydroxide-Vermiculite Complex: Preparation and Characterization. *Clays and Clays Minerals*, 47(6):726-731.
- Ugarte, J. F. O.; Monte, M. B. M. (2004). Caracterização Tecnológica e Aplicações de Vermiculitas Brasileiras. Relatório Técnico Final, *CETEM*.
- [www.cprm.gov.br/rehi/atlas/paraiba/relatorios/santi166.pdf](http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/paraiba/relatorios/santi166.pdf). Acesso em: 05/04/2011.
- [www.cprm.gov.br/rehi/atlas/piaui/relatorios/165.pdf](http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/piaui/relatorios/165.pdf). Acesso em: 05/04/2011.
- [www.datamineral](http://www.datamineral); acesso em 05/04/2011.
- [www.vitoriaregia.net/.../A%20Formação%20da%20Região%20Amazônica.ppt](http://www.vitoriaregia.net/.../A%20Formação%20da%20Região%20Amazônica.ppt). Acesso em: 11/04/2011.