



ADSORÇÃO DE METAIS PESADOS POR VERMICULITA PIROEXPANDIDA. CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL E ESPECTROSCÓPICA

Juliana de Figueiredo Lima¹; Claudia Maria de Oliveira Raposo²

RESUMO

A problemática ambiental causada por agentes poluentes têm chamado a atenção da sociedade moderna. Dentre esses agentes poluentes, podemos destacar a presença dos metais pesados, que, com o avanço das atividades industriais tem causado danos ao ecossistema. A vermiculita é um argilomineral de alto poder adsorvente por possuir uma grande área superficial específica e alta capacidade de troca catiônica. Por esse motivo, estudos com a vermiculita tem sido feitos para minimizar a biodisponibilidade desses metais pesados no meio ambiente. Este trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade de adsorção dos metais Cr(III) e Pb(II) em distintas concentrações, entre 1-4 mmol(s), por vermiculitas, em concentrados fino e médio, modificadas termicamente. Os resultados mostraram variações significativas relativas à cristalinidade das frações, fina e média para ambos os metais avaliados evidenciando que a forma piroexpandida é também um excelente adsorvente de metais pesados.

Palavras-chave: vermiculita piroexpandida, metais pesados, adsorção

ABSTRACT

ADSORPTION OF HEAVY METALS BY VERMICULITE EXFOLIATED. SPECTROSCOPY AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION

The problems caused by environmental pollutants have drawn the attention of modern society. Among these pollutants, we can highlight the presence of heavy metals which, with the advancement of industrial activities have caused damage to the ecosystem. The vermiculite is a clay mineral with high adsorbent power by having a large specific surface area and high cation exchange capacity. Therefore, studies with the vermiculite have been made to minimize the availability of heavy metals in the environment. This study aimed to evaluate the capacity of adsorption of metals Cr(III) and Pb(II) in different concentrations, between 1-4 mmol (s), in vermiculite, concentrates on fine and medium, thermally modified. The results showed significant variations on the crystallinity of fractions, fine and medium for both metals evaluated showing that the exfoliated vermiculite is an excellent adsorbent of heavy metals.

Keywords: exfoliated vermiculite, heavy metals, adsorption

INTRODUÇÃO

O aumento da concentração de metais pesados nos solos e nas águas vem aumentando consideravelmente devido ao crescimento nas atividades industriais, prejudicando assim todo o ecossistema. Neste contexto, novas pesquisas estão sendo realizadas com o objetivo de solucionar, ou pelo menos, minimizar tal impacto ambiental. O método convencional de remoção de metais

¹ Aluna de Curso de Engenharia de Materiais, Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: juliana-lima21@hotmail.com

² Engenheira Química, Prof^a. Doutora. Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: raposo@dmq.ufcg.edu.br

pesados presentes, por exemplo, em efluentes industriais baseia-se na precipitação-sedimentação, seguidas da filtração do lodo formado. No entanto, características como a baixa cinética, a precipitação incompleta dos metais e o grande volume de lodo formado são vistas como limitações dessa técnica, incentivando o desenvolvimento de novas alternativas de remoção-separação de íons metálicos em solução (WEBER, 1972).

O setor mineral brasileiro tem fornecido minerais que tem demonstrado capacidade de adsorver metais pesados. Dentre esses minerais, podem ser destacados a vermiculita e a bentonita, naturais ou modificadas (ANDRADE, 2002).

Vermiculita – Propriedades e Características Gerais

A vermiculita é um argilo-mineral com significativo poder adsorvente, devido à grande área superficial e propriedade de troca catiônica. Devido a esses fatores, a aplicabilidade deste material no mercado vem aumentando, principalmente, por possibilitar a utilização como adsorvente de metais pesados de efluentes líquidos (FRANÇA, 2002). Este mineral pertence à classe dos silicatos e a família dos filossilicatos, apresenta clivagem do tipo basal, paralela ao plano das placas, e, quando submetida a elevadas temperaturas possui a propriedade de esfoliação, irreversível, na direção perpendicular ao plano das placas favorecendo assim, muitas aplicações (WILLIAMS, 1997). A estrutura da vermiculita é do tipo 2:1, se constitui de duas folhas tetraédricas e uma folha octaédrica. O empilhamento dessas folhas ao longo do eixo vertical apresenta-se muito semelhante à estrutura das esmectitas. As folhas tetraédricas são empacotamentos de silício e oxigênio em coordenação tetraédrica, SiO_4 , onde ocasionalmente o silício pode ser substituído isomorficamente pelo alumínio. As folhas octaédricas são formadas de átomos de alumínio, e grupos hidroxílicos, compondo a clã gibbsita, $\text{Al}(\text{OH})_3$, onde o Al^{3+} pode ser substituído, em geral, por Mg^{2+} ou Fe^{2+} . Entre as camadas t-o-t duas ou mais folhas de moléculas de água arranjadas em formato ou estrutura hexagonal ocupam um espaço de 4,98 Å, que é aproximadamente a espessura de duas moléculas de água, onde os cátions trocáveis encontram-se localizados, principalmente Mg^{2+} , Ca^{2+} e Na^+ (SANTOS, 1981; MACHADO, 2000). As substituições isomórficas que ocorrem naturalmente neste mineral favorecem um desequilíbrio de cargas na estrutura cristalina o qual é compensado pelos cátions trocáveis. Esses cátions estão ligados à estrutura por forças eletrostáticas, geralmente em torno das arestas das partículas e nos planos basais. A troca catiônica é reversível e não traz modificações à estrutura cristalina (MAIA, 1995). A reflexão basal fortemente registrada em 2θ em torno de $6,09^\circ$ caracteriza uma distância interplanar basal de aproximadamente 14,5 Å indicando a presença da dupla camada de água na região interlamelar da amostra mineral como pode ser observado na Figura 1 (HUDSON, 1999).

No Brasil, os principais depósitos de vermiculita estão localizados nos estados de Goiás, Bahia, Piauí, Paraíba e Paraná (PARENTE, 1986).

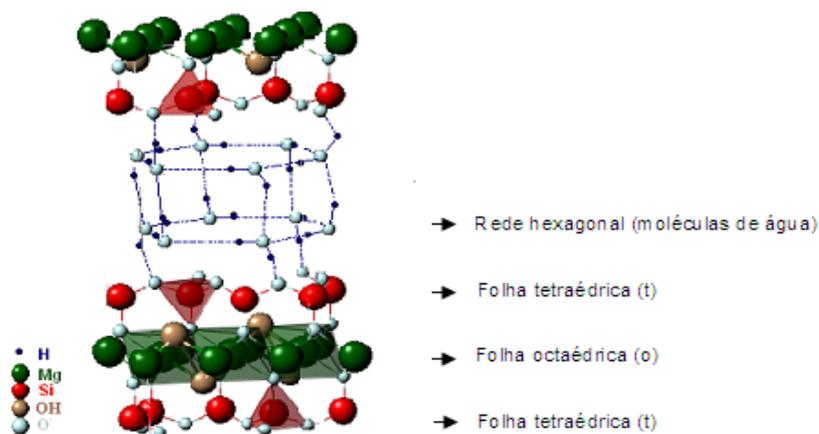


Figura 1 – Estrutura da vermiculita adaptada a partir de GRUNER (1934).

Metais Pesados

Na maioria das situações, metais pesados são abordados como sendo agentes associados à poluição e a toxicidade. Entretanto, em baixas concentrações, eles são fundamentais para os seres vivos. A denominação “*metais tóxicos*” é uma alternativa ao termo metais pesados, sendo aplicável somente aos elementos não essenciais para a sobrevivência dos organismos vivos, como o chumbo, cádmio, mercúrio, arsênio, urânio, entre outros; e não é apropriado para os elementos que são considerados essenciais, como o cobalto, cobre, manganês, selênio e zinco. Esses metais também se tornam tóxicos e perigosos, quando ultrapassam determinados valores permissíveis aos seres humanos. Os outros metais são prejudiciais em organismos vivos em qualquer concentração (CIMM, 2009).

Os metais tóxicos podem ser encontrados nos efluentes líquidos, principalmente na sua forma dissolvida, apresentando-se como íons simples ou complexos, quelatos organometálicos não ionizados ou complexados. Por outro lado, essas substâncias podem ser encontradas em suspensão constituindo compostos como hidróxidos, óxidos, silicatos e raramente, como metais individuais (TÁPIA, 2001).

O cromo faz parte do grupo industrial dos metais ferrosos e é o que merece maior atenção pelos efeitos adversos que pode causar à saúde humana. Nos depósitos pode ocorrer como Cr(III), considerado de toxicidade baixa, e Cr⁶⁺ de toxicidade alta, sendo este último reduzido a Cr³⁺ na presença de material orgânico muito rapidamente.

Os compostos de cromo são associados ao câncer respiratório. O risco no organismo pela presença do Cr³⁺ é menor, no caso das formas solúveis porque pode ocorrer a excreção rápida do metal. Contudo, foi considerado que a forma, Cr(III), apresenta maior risco relativo na produção de câncer, porque o tempo de residência desta espécie nas células é maior quando comparado à forma Cr(VI) (FIGUEIREDO, 2000).

O chumbo está presente no ar, no tabaco, nas bebidas e nos alimentos, nestes últimos, naturalmente, por contaminação e na embalagem. Está presente na água devido às descargas de efluentes industriais como, por exemplo, os efluentes das indústrias de acumuladores (baterias), bem como devido ao uso indevido de tintas e tubulações e acessórios à base de chumbo. Constitui veneno cumulativo, provocando um envenenamento crônico denominado saturnismo, que consiste em efeito sobre o sistema nervoso central com conseqüências bastante sérias (MUNDO DO QUÍMICO, 2009). Diversos procedimentos têm sido propostos para reduzir a mobilidade e a biodisponibilidade dos metais pesados, entre eles o processo de adsorção por superfícies adsorventes, como é o caso dos minerais de argila (AGUIAR et al., 2002; CHUI, 2005; LACIN et. al, 2005; RODRIGUES et. al, 2004; SANCHEZ et al., 1999). Dentre estes minerais, podem ser citados a vermiculita e a bentonita, naturais e/ou modificadas (ANDRADE, 2002). Assim, o presente estudo teve como proposta avaliar a capacidade de adsorção dos metais, Cr(III) e Pb(II), em distintas concentrações, entre 1-4 mmol(s), por vermiculitas, em concentrados fino e médio, modificadas termicamente. As técnicas usadas para caracterizar as amostras minerais foram a difração de raios X e a fluorescência de raios X por energia dispersiva.

MATERIAIS E MÉTODOS

Preparação das Amostras

As amostras de vermiculita, concentrados *in natura* em frações, fino (-2+1) mm e médio (-4+2) mm, foram cedidas pela União Brasileira de Mineração (UBM) localizada no estado da Paraíba/Brasil. As referidas amostras foram submetidas ao tratamento de piroexpansão, após amostragem e deslamagem prévias, e então cedidas para os ensaios de adsorção. Soluções de sais contendo cromo(III) e chumbo(II), a partir do cloreto de cromo hexahidratado, CrCl₃.6H₂O e do nitrato de chumbo, Pb(NO₃)₂, ambos (Vetec), foram usadas para os ensaios de adsorção nas amostras minerais acima referenciadas.

As amostras minerais, frações fina e média *in natura* foram codificadas como, VFN e VMN; e as mesmas frações esfoliadas (E) com adsorção de espécies dos metais pesados foram denominadas de VFE_{(MP^{x+}/y mmol(s))} e VME_{(MP^{x+}/y mmol(s))}. Os subscritos, MP^{x+} correspondem ao tipo metal (M) pesado (P), (x+) o estado de oxidação do adsorbato e (y) a concentração molar usada no processo de adsorção.

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Tratamento de Minérios da Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia (UAMG) do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Procedimento de Adsorção de Metais Pesados

As amostras de vermiculita, frações fina e média, foram dispersas em soluções aquosas com espécies, quer de Cr(III) quer de Pb(II), cujas concentrações variaram de 1-4 mmol(s). O processo foi realizado sob agitação constante, em temperatura ambiente por aproximadamente 24 horas. As amostras foram lavadas e secas em estufa em torno de 60 °C por 24 horas. Em seguida foram cominuídas em malha 200 #.

Caracterização das Amostras Minerais

Os ensaios de DRX foram realizados em todas as amostras preparadas. O método qualitativo empregado foi o do pó e o equipamento utilizado foi o SHIMADZU XRD-6000 com radiação de $\text{CuK}\alpha$, intervalo de $1,5^\circ \leq 2\theta \leq 60^\circ$, filtro de níquel, passo de 0,02/seg e fendas Soller.

As análises de fluorescência de raios X por energia dispersiva foram realizadas usando-se um espectrômetro SHIMADZU modelo EDX-720 para determinar a composição das amostras, *in natura* e modificadas com Cr(III) e Pb(II). Este equipamento possibilita uma análise semi-quantitativa de modo rápido e preciso.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Difração de Raios X (DRX)

Os difratogramas das amostras, VFN e VMN são apresentados na Figura 2(a e b). Os perfis, em ambos os casos, indicam sólidos cristalinos e similares quanto à composição de fases. Os picos destacados, planos (002) e (060), caracterizam reflexões correspondendo às distâncias interplanares de 14,08 e 14,87 Å e de 1,54 e 1,54 Å, respectivamente, os quais evidenciam amostras mineraias de vermiculitas tipicamente trioctaédricas (SANTOS, 1992). As demais reflexões, (001), indicam que o mineral em presença predominante é a vermiculita (MACHADO, 2000). Para as amostras, $\text{VFE}_{(\text{Cr}^{3+}/(\text{y mmol}(\text{s})))}$, Figura 3a e $\text{VME}_{(\text{Cr}^{3+}/(\text{y mmol}(\text{s})))}$, Figura 3b, observa-se que estas não colapsaram após o processo de adsorção, porém um decréscimo da cristalinidade original é observado. Os valores de 2θ , em $6,69^\circ$ e $6,23^\circ$, correspondendo a 13,20 e 14,18 Å, respectivamente, se mantiveram constantes em todos os casos. Porém, do ponto de vista estrutural observa-se uma sequência de novas reflexões com intensidades distintas como consequência das diferentes concentrações molares de adsorbato usadas. Caracteriza-se então, a presença de uma nova fase nestes sólidos evidenciada também, pela comparação com as respectivas frações naturais.

Os dados de DRX dos materiais adsorvidos com chumbo, para as mesmas frações, fina e média, são apresentados nas Figuras 4(a e b), $\text{VFE}_{(\text{Pb}^{2+}/(\text{y mmol}(\text{s})))}$ e $\text{VME}_{(\text{Pb}^{2+}/(\text{y mmol}(\text{s})))}$, respectivamente. Observam-se variações muito significativas relativas ao perfil de cristalinidade e a mudança de fase, provavelmente fase hidratada, não somente quando comparados aos difratogramas das amostras *in natura*, mas, sobretudo quando correlacionados com àqueles adsorvidos com Cr(III). As reflexões correspondentes ao plano (002), para as frações, fina e média esfoliadas apresentam-se deslocadas em todos os sólidos modificados, 2θ em $8,85^\circ$ e $9,01^\circ$, respectivamente, em relação às amostras naturais. Um conjunto de novos picos, com intensidades distintas também é observado em todos estes resultados, os quais estão associados aos teores molares usados. O processo de adsorção, neste caso, parece independe deste parâmetro tendo em vista a similaridade dos difratogramas. As distâncias interplanares em torno de 9,98 e 9,81 Å são mantidas sugerindo que o modelo coordenado do íon de metal pesado do adsorbato pode ser um parâmetro significativo. Porém, todos os resultados apresentados mostram claramente que uma maior ou menor quantidade de espécie adsorvida parece estar associada diretamente ao tamanho de partícula da amostra mineral tendo em vista os respectivos difratogramas analisados (ABOLLINO, 2008; FONSECA, 2005).

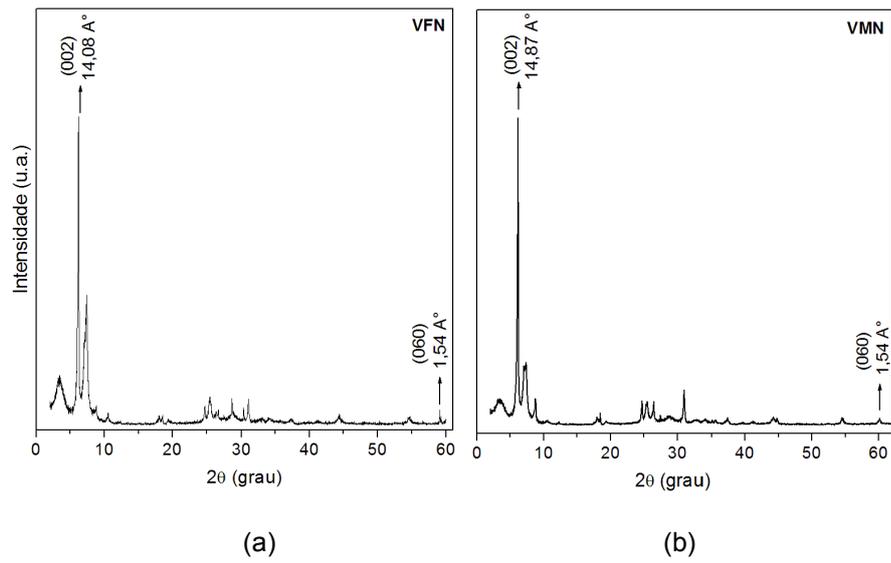


Figura 2 – Difratoograma a amostra de vermiculitas, frações (a) fina e (b) média *in natura*, secas a aproximadamente 60 °C.

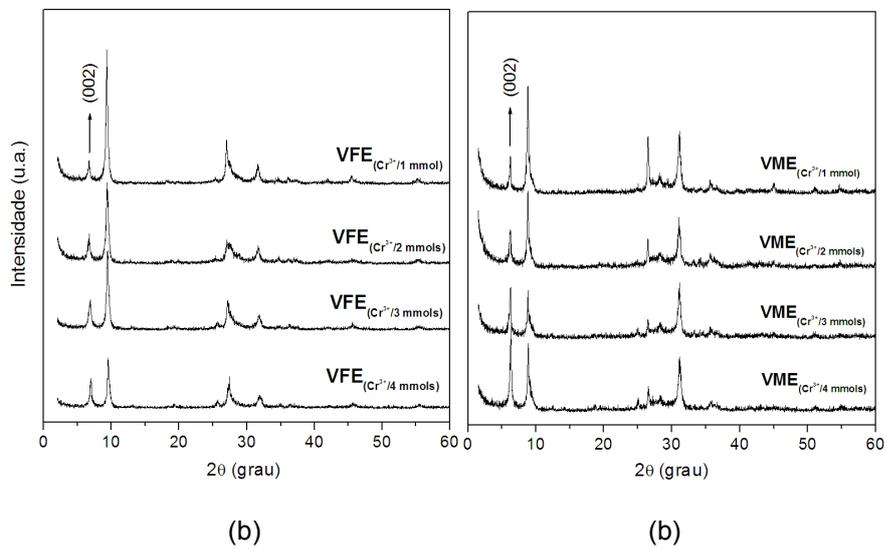


Figura 3 – Difratoogramas das amostras de vermiculitas, frações (a) fina e (b) média esfoliadas, modificadas com cromo(III) em distintas concentrações e secas a aproximadamente 60 °C.

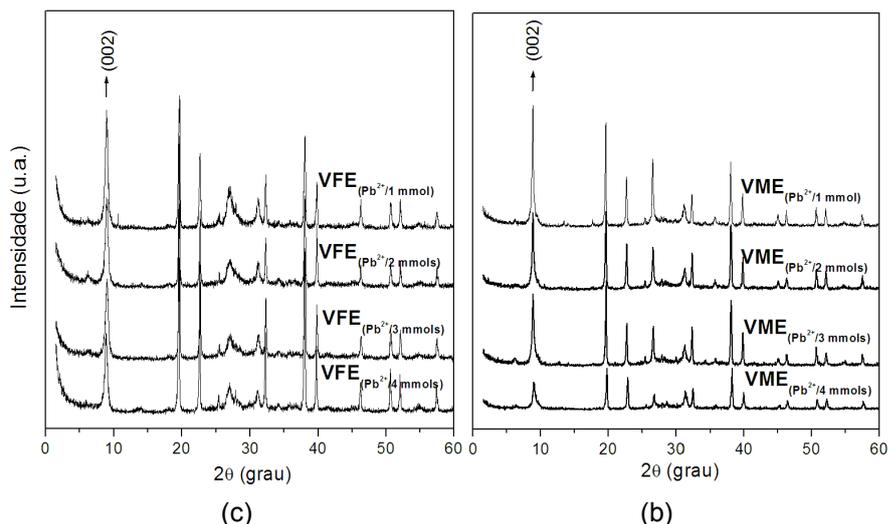


Figura 4 – Difratomogramas das amostras de vermiculita, frações (a) fina e (b) média esfoliadas, modificadas com chumbo(II) em distintas concentrações secas a aproximadamente 60 °C.

Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva (EDX)

Os resultados da análise de fluorescência de raios X são mostrados nas Tabelas 1-4 para as amostras de vermiculita frações fina e média, *in natura* e modificadas por adsorção com os metais pesados, Cr(III) e Pb(II). Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os resultados das frações minerais naturais, VFN e VMN, respectivamente. Os dados de composição, em ambas as amostras, mostram um discreto teor de cromo na forma mais estável. Para a fração fina, (-2+1) mm, observa-se que a sorção do referido metal aumenta com o aumento da concentração molar. O percentual de cromo adsorvido praticamente duplica comparando-se as concentrações mínima, 1 mmol, e máxima, 4 mmols. Em análise de adsorção na fração média, (-4+2) mm, teores menores de metal, variando em torno de 1/9 a 1/3 para a menor e a maior concentrações molares, respectivamente, são registrados quando comparados com a fração fina o que pode estar associado, não somente ao processo de troca de espécies oligoméricas altamente hidratadas, mas também ao tamanho de partícula (ABOLLINO, 2008; OLIVEIRA, 2008). Os dados de EDX para as amostras sorvidas com chumbo, Tabelas 3 e 4, fina e média respectivamente, mostram que o processo de troca foi mais efetivo quando comparado com os resultados com o cromo. Provavelmente, o cátion divalente com um raio iônico grande e, portanto, com menor volume de hidratação, provavelmente favoreceu mais efetivamente o processo de adsorção quando comparado ao cromo(III).

A vermiculita, mineral argiloso, é um bom adsorvente de íons de metais pesados em soluções aquosas devido à alta capacidade de troca catiônica e sua elevada área superficial associada aos pequenos tamanhos de partícula com a vantagens de ser abundante e de baixo custo (ABOLLINO, 2008).

Tabela 1 – Resultados da análise de fluorescência de raios X da amostra de vermiculita, fração fina, *in natura* e esfoliadas após adsorção com cromo.

Composição	VFE_(Cr³⁺ /1mmol) (%)	VFE_(Cr³⁺ /2 mmols) (%)	VFE_(Cr³⁺ /3 mmols) (%)	VFE_(Cr³⁺ /4mmols) (%)	VFN (%)
SiO ₂	40,76	40,32	40,26	40,57	43,64
MgO	24,13	23,3	24,05	22,22	24,06
Al ₂ O ₃	14,24	14,07	13,85	13,52	14,68
Cr ₂ O ₃	4,48	5,53	6,49	8,29	0,43
Fe ₂ O ₃	8,13	8,16	7,63	7,98	8,68
K ₂ O	4,21	4,22	4,21	4,02	4,56
SO ₃	1,90	2,00	1,46	1,52	1,32
TiO ₂	1,15	1,16	0,92	1,06	1,03
CaO	0,80	0,99	0,66	0,59	0,91
NiO	0,16	0,18	0,15	0,17	0,19
V ₂ O ₅	0,04	0,06	-----	0,03	-----
ZnO	0,01	-----	0,01	-----	0,01
BaO	-----	-----	0,30	-----	0,38
Rb ₂ O	-----	-----	0,01	-----	0,02

Tabela 2 – Resultados da análise de fluorescência de raios X da amostra de vermiculita, fração média, *in natura* e esfoliadas após adsorção com cromo.

Composição	VME _(Cr³⁺ /1mmol) (%)	VME _(Cr³⁺ /2 mmols) (%)	VME _(Cr³⁺ /3 mmols) (%)	VME _(Cr³⁺ /4mmols) (%)	VMN (%)
SiO ₂	40,74	44,04	42,59	41,49	42,66
MgO	26,72	27,30	26,84	27,66	26,42
Al ₂ O ₃	15,30	15,15	14,03	13,74	15,14
Cr ₂ O ₃	1,00	1,10	3,87	3,24	0,55
Fe ₂ O ₃	7,44	7,31	7,82	7,74	8,15
K ₂ O	2,02	1,66	1,24	1,44	3,30
SO ₃	1,90	2,00	1,46	1,52	1,32
TiO ₂	1,10	1,10	0,99	1,01	1,06
CaO	0,44	0,44	0,41	0,61	0,49
NiO	0,16	0,16	0,17	0,18	0,16
V ₂ O ₅	0,04	0,06	-----	0,03	-----
ZnO	0,01	-----	0,01	0,01	0,01
MnO	0,09	0,07	-----	-----	0,09
BaO	-----	-----	0,30	-----	-----
Rb ₂ O	-----	-----	0,01	-----	0,02

Tabela 3 – Resultados da análise de fluorescência de raios X da amostra de vermiculita, fração fina, *in natura* e esfoliadas após adsorção com chumbo.

Composição	VFE_(Pb²⁺/1mmol) (%)	VFE_(Pb²⁺/2 mmols) (%)	VFE_(Pb²⁺/3 mmols) (%)	VFE_(Pb²⁺/4mmols) (%)	VFN (%)
SiO ₂	40,21	40,20	39,24	38,43	43,64
MgO	25,02	24,14	23,92	23,83	24,06
Al ₂ O ₃	13,09	13,13	12,74	12,72	14,68
PbO	8,48	9,77	11,48	12,83	-----
Cr ₂ O ₃	0,35	0,33	0,34	0,32	0,43
Fe ₂ O ₃	6,80	6,27	6,38	6,07	8,68
K ₂ O	3,72	3,90	3,80	3,76	4,56
SO ₃	-----	-----	-----	-----	1,32
TiO ₂	1,03	1,02	1,03	0,98	1,03
CaO	0,85	0,83	0,82	0,81	0,91
NiO	0,17	0,14	0,15	0,15	0,19
ZnO	-----	-----	-----	-----	0,01
BaO	-----	-----	-----	-----	0,38
MnO	0,21	0,08	0,07	0,08	-----
Rb ₂ O	0,02	0,02	0,03	-----	0,02

Tabela 4 – Resultados da análise de fluorescência de raios X da amostra de vermiculita, fração média, *in natura* e esfoliadas após adsorção com chumbo.

Composição	VME _(Pb²⁺/1mmol) (%)	VME _(Pb²⁺/2 mmols) (%)	VME _(Pb²⁺/3 mmols) (%)	VME _(Pb²⁺/4mmols) (%)	VMN (%)
SiO ₂	37,33	38,02	38,50	38,92	42,66
MgO	24,81	24,27	23,89	24,47	26,42
Al ₂ O ₃	11,32	12,05	11,04	11,20	15,14
PbO	15,04	14,02	14,66	13,48	-----
Cr ₂ O ₃	0,35	0,31	0,34	0,49	0,55
Fe ₂ O ₃	7,23	6,97	7,02	7,26	8,15
K ₂ O	2,08	2,45	2,48	2,03	3,30
SO ₃	-----	-----	-----	-----	1,32
TiO ₂	0,98	1,02	1,03	1,02	1,06
CaO	0,63	0,61	0,58	0,60	0,49
NiO	0,13	0,14	0,12	0,17	0,16
ZnO	-----	-----	-----	-----	0,01
MnO	0,10	0,12	0,11	0,14	0,09
Rb ₂ O	-----	0,02	0,03	0,03	0,02

CONCLUSÕES

A amostra mineral, vermiculita em frações, fina e média, termicamente modificadas, mostrou-se adequada ao processo de adsorção para ambos os metais estudados. Os resultados mais significativos foram evidenciados, para ambas as frações com o chumbo indicando que a forma piroexpandida deste mineral também é um excelente adsorvente de íons de metais pesados em soluções aquosas.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica - PIBIC, ao Laboratório de Tratamento de Minérios da Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia-CTRN e ao Laboratório de Caracterização da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais-CCT da Universidade Federal de Campina Grande/PB pelos ensaios experimentais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOLLINO, O.; GIACOMINO, A.; MALANDRINO, M.; MENTASTI, E. Interaction of Metal ions with Montmorillonite and Vermiculite. *Appl. Clay Science*, v. 38, p. 227-236, 2008
- AGUIAR, M. R. M. P.; NOVAES, A. C. Remoção de metais pesados de efluentes industriais poraluminossilicatos. *Química Nova*, v.25, n.6B, p.1145-1154, 2002.
- ANDRADE, M. C.; DUARTE, A. C. P.; FRANÇA, S. C. A.; MONTE, M. B. M.; SAMPAIO, J. A. **Adsorção de aminas em minerais industriais para recuperação de efluentes**. Anais do XIX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Recife, v.2, p.331-337, 2002.

CHUI, Q.;S.;H. Uso de vermiculita mmassapé paulistana como adsorvedora de metais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.10, n.1, p.58-63, 2005.

CIMM – Centro de Informação Metal Mecânica. **Meio Ambiente**. Disponível em: < www.cimm.com.br >. Acesso em 20/07/2009

FIGUEIREDO, B. R. **Minérios e Ambiente**. Editora da Unicamp, 2000.

FONSECA, M. G.; OLIVEIRA, M. M.; ARAKAKI, L. N. H.; ESPINOLA, J. G. P.; AIROLDI, C. Natural Vermiculite as an Exchanger Support for Heavy Cations in Aqueous Solution. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 285, p. 50-55, 2005.

FRANÇA, S. C. A.; LUZ, A. B. **Utilização de vermiculita como adsorvente de compostos orgânicos poluentes**. Relatório Técnico, CETEM/MCT, Rio de Janeiro, p.35, 2002.

GRUNER, J. W., American Mineralogist , **The structures of vermiculites and their collapse by dehydration**, 557-575, 1934.

HUDSON, E. A.; TERMINELLO L. I.; VIANI B. E.; DENECKE M.; REICH T.; ALLEN P. G.; BUCHER J. I.; SHUH D. K.; EDELSTEIN N. M. **Clays and Clay Minerals**, v.47 n.4, p.439-457, 1999.

LACIN, O.; BAYRAK, B.; KORKUT, O.; SAYAN, E. Modeling of adsorption and ultrasonic desorption of cadmium (II) and zinc (II) on local bentonite. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 292, p. 330-335, 2005.

MACHADO, L. C. R. **Caracterização de vermiculitas visando sua esfoliação e hidrofobização para a adsorção de substâncias orgânicas**. Dissertação de Mestrado, Ouro Preto, UFOP, 2000.

MAIA, D. F. – **Vermiculita modificada pela troca por cátions cromo (III): Síntese e atividade catalítica na decomposição do peróxido de hidrogênio**. Dissertação de Mestrado, Campina Grande, UFPB, 1995.

PARENTE, R. C.; OLIVEIRA, U. L. Mundo do Químico, Toxicologia dos metais pesados. Disponível em < www.mundodoquimico.hpg.ig.com.br >. Acesso em 20/07/2009. – **Perfil analítico da vermiculita**. DNPM, Brasília, n.60. 1986.

OLIVEIRA, M. M. Obtenção de Isotermas de Troca Iônica de Cu^{2+} , Co^{2+} , Pb^{2+} , Cr^{3+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} em Vermiculita e suas Caracterizações. **Dissertação de Mestrado**, UFPB, 2008. SANTOS, P. S.; NAVARRAS, R – Estudos sobre a piroexpansão de vermiculitas brasileiras – Uma revisão. **Cerâmica**, v.27, n.143, p.423-441, 1981.

RODRIGUES, M. G. F.; SILVA, M. L. P.; SILVA, M. G. C. Caracterização da argila bentonítica para utilização na remoção de chumbo de efluentes sintéticos. **Cerâmica**, v.50, p.190-196, 2004.

SANCHEZ, A. G.; AYUSO, E. A.; BLAS, O. J. Sorption of heavy metals from industrial waste by low-cost mineral silicates. **Clay Minerals**, v.34, p.469-477, 1999.

SANTOS, P. S. **Ciência e tecnologia das Argilas**, Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, v.2, p.856, 1992.

TÁPIA, P.; PAVEZ, O.; ARDILES, A.; TAPIA, P. C. Efectividade de diversos materiales em la remocion de cobre por adsorcion. **Anais do XVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**, v.3, Rio de Janeiro, p.455-458, 2001.

WEBER, G. F. **Vermiculites In Soil Components – Inorganic Components**, v.2, cap.6, Gieseking, j.e. (ed). Springer-Verlag, New York, p.670, 1972.

WILLIAMS, G. D.; SKIPER N. T.; SMALLEY, M. V. Isotope substitution of interfacial fluids in vermiculite clays. **Physic B** v. 234-236, p.375-376, 1997.