

2ª Edição revisada e ampliada

EDITORES: ADÃO BENVINDO DA LUZ & FERNANDO A. FREITAS LINS

ROCHAS & MINERAIS INDUSTRIAIS

usos e especificações



SUMÁRIO

PARTE I: INTRODUÇÃO GERAL

01. PANORAMA DAS ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS NO BRASIL	3
<i>Fernando A. Freitas Lins</i>	

02. DESEMPENHO FUNCIONAL DOS MINERAIS INDUSTRIAIS: DESAFIOS TECNOLÓGICOS, FERRAMENTA DE MARKETING E ESTRATÉGIA DE VALORIZAÇÃO	25
<i>Renato R. Ciminelli</i>	

PARTE II: ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS: USOS E ESPECIFICAÇÕES

03. AGALMATOLITO	69
<i>Adão Benvindo da Luz, Paulo Tomedi e Rodrigo Martins</i>	

04. AMIANTO	79
<i>Normando Claudino Moreira de Queiroga, William Bretas Linares, Joselito Dasio da Silva e Adão Benvindo da Luz</i>	

05. AREIA INDUSTRIAL	103
<i>Adão Benvindo da Luz e Fernando A. Freitas Lins</i>	

06. AGROMINERAIS - ENXOFRE	125
<i>Gildo de Araújo Sá C. de Albuquerque (in memoriam), Ronaldo Simões L. Azambuja (in memoriam) e Fernando A. Freitas Lins</i>	

07. AGROMINERAIS - FOSFATO	141
<i>Francisco E. Lápido Loureiro, Marisa Bezerra de Mello Monte e Marisa Nascimento</i>	

08. AGROMINERAIS - POTÁSSIO	175
<i>Marisa Nascimento, Marisa Bezerra de Mello Monte e Francisco E. Lápido Loureiro</i>	

09. AGROMINERAIS - ROCHAS SILICÁTICAS COMO FONTES MINERAIS ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO PARA A AGRICULTURA	205
<i>Éder de Souza Martins, Claudinei Gouveia de Oliveira, Álvaro Vilela de Resende e Marcello Silvino Ferreira de Matos</i>	

10. ARGILA - ATAPULGITA E SEPIOLITA	223
<i>Adão Benvindo da Luz e Salvador Luiz M. de Almeida</i>	

11. ARGILA - BENTONITA	239
<i>Adão Benvindo da Luz e Cristiano Honório de Oliveira</i>	

12. ARGILA - CAULIM	255
<i>Adão Benvindo da Luz, Antônio Rodrigues de Campos, Eduardo Augusto de Carvalho, Luis Carlos Bertolino e Rosa Bernstein Scorzelli</i>	
13. BARITA	295
<i>Adão Benvindo da Luz e Carlos Adolpho Magalhães Baltar</i>	
14. BAUXITA	311
<i>João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade e Achilles Junqueira Bourdot Dutra</i>	
15. BERILO	339
<i>Marcelo Soares Bezerra e Júlio de Rezende Nesi</i>	
16. CALCÁRIO E DOLOMITO	363
<i>João Alves Sampaio e Salvador Luiz Matos de Almeida</i>	
17. CIANITA REFRACTÁRIA	389
<i>Caroline Meira Lopes de Castro Joffily e Claudinei Gouveia de Oliveira</i>	
18. CROMITA	403
<i>João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade e Paulo Renato Perdigão Paiva</i>	
19. DIAMANTE	427
<i>Mario Jorge Costa e Adão Benvindo da Luz</i>	
20. DIATOMITA	451
<i>Silvia Cristina Alves França, Adão Benvindo da Luz e Paulo Francisco Inforçati</i>	
21. FELDSPATO	467
<i>Adão Benvindo da Luz, Fernando A. Freitas Lins e José Mario Coelho</i>	
22. FLUORITA	487
<i>João Alves Sampaio, Carlos Adolpho Magalhães Baltar e Mônica Calixto de Andrade</i>	
23. GIPSITA	505
<i>Carlos Adolpho Magalhães Baltar, Flavia de Freitas Bastos e Adão Benvindo da Luz</i>	
24. GRAFITA	527
<i>João Alves Sampaio, Paulo Fernando Almeida Braga e Achilles Junqueira Bourdot Dutra</i>	
25. HALITA	551
<i>Paulo Roberto Cabral de Melo, Renato Senna de Carvalho e Dorival de Carvalho Pinto</i>	

26. LÍTIÓ	585
<i>Paulo Fernando Almeida Braga e João Alves Sampaio</i>	
27. MAGNESITA	605
<i>Luís Rodrigues Armôa Garcia, Paulo Roberto Gomes Brandão e Rosa Malena Fernandes Lima</i>	
28. MANGANÊS	633
<i>João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade, Achilles Junqueira Bourdot Dutra e Márcio Torres Moreira Penna</i>	
29. MICA	649
<i>Carlos Adolpho Magalhães Baltar, João Alves Sampaio e Patrícia Maria Tenório Cavalcante</i>	
30. NEFELINA SIENITO	663
<i>João Alves Sampaio, Sílvia Cristina Alves França e Paulo Fernando Almeida Braga</i>	
31. QUARTZO	681
<i>Pedro Luiz Guzzo</i>	
32. RMIS: ROCHAS E MINERAIS PARA CERÂMICA DE REVESTIMENTO	723
<i>Mônica Calixto de Andrade, João Alves Sampaio, Adão Benvindo da Luz e Alberto Buoso</i>	
33. RMIS: ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA	747
<i>Marsis Cabral Junior, José Francisco Marciano Motta, Amilton dos Santos Almeida e Luiz Carlos Tanno</i>	
34. RMIS: ARGILA PLÁSTICA PARA CERÂMICA BRANCA	771
<i>José Francisco Mariano Motta, Adão Benvindo da Luz, Carlos Adolpho Magalhães Baltar, Marcelo Soares Bezerra, Marsis Cabral Júnior e José Mario Coelho</i>	
35. TALCO	793
<i>Ivan Falcão Pontes e Salvador Luiz Matos de Almeida</i>	
36. TERRAS-RARAS	817
<i>Simon Rosental</i>	
37. TITÂNIO: MINERAIS DE TITÂNIO	841
<i>Carlos Adolpho Magalhães Baltar, João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade e Dorival de Carvalho Pinto</i>	
38. VERMICULITA	865
<i>José Fernandes de Oliveira Ugarte, João Alves Sampaio e Sílvia Cristina Alves França</i>	
39. ZEOLITAS NATURAIS	889
<i>Nélio das Graças de Andrade da Mata Resende, Marisa Bezerra de Mello Monte e Paulo Renato Perdigão Paiva</i>	
40. ZIRCONITA	917
<i>Luiz Carlos Bertolino, Nely Palermo, João Alves Sampaio e Sílvia Cristina Alves França</i>	

PARTE III: OS MINERAIS E O MEIO AMBIENTE

41. MINERAIS APLICADOS À TECNOLOGIA AMBIENTAL: MINERAIS VERDES 933
Silvia Cristina Alves França, José Fernandes de Oliveira Ugarte e Adriana de A. Soeiro da Silva
42. EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL E AMBIENTAL A POEIRAS DE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS 961
Zuleica Carmen Castilhos, Reiner Neumann e Olívia Bezerra

GLOSSÁRIO

CAPÍTULO 10

Argila – Atapulgita e Sepiolita

Adão Benvindo da Luz¹
Salvador Luiz M. de Almeida²

1. INTRODUÇÃO

Atapulgita é um silicato complexo de magnésio constituído por cristais alongados. Lapparent atribuiu esse nome a uma terra *fuller* descoberta no ano 1935 em Attapulgus, Geórgia (EUA) e em Mormoiron, França. Este pesquisador achava que esse mineral era diferente da paligorsquita, descoberta em 1861 nos Montes Urais, União Soviética. No entanto foi provado depois, usando técnicas mais adequadas (difração de raios-X, microsonda eletrônica e análise termodiferencial), que esses minerais dizem respeito a uma mesma espécie mineral (Heivilin e Murray, 1994; Luz *et al.*, 1988).

A atapulgita, quando comparada com outras argilas industriais (bentonita, caulinita etc.), apresenta propriedades físico-químicas que lhe conferem propriedades adequadas aos vários usos industriais, tais como fluido de perfuração, descoramento de óleos vegetais, minerais e animais, absorventes de óleos e graxas, absorvente de dejetos de animais domésticos (*pet litter*), purificação de águas domésticas etc. (Almeida e Chaves, 1995).

Segundo Haden e Schwint (1967), citado por Harben (1997), a atapulgita, como fluido de perfuração, apresenta um desempenho similar a bentonita, no entanto é considerada inferior, em muitos aspectos. Entretanto, como a atapulgita não é virtualmente afetada por eletrólitos, é particularmente efetiva em ambientes saturados com sal, no qual a bentonita falha para manter as suas propriedades tixotrópicas.

Os EUA são um grande produtor de atapulgita e os estados da Flórida e Geórgia os principais produtores. Em 2006, os EUA produziram 262 mil toneladas de atapulgita, com uma queda de 7% em relação ao ano anterior, mas por outro lado houve um aumento no preço médio de US\$ 129,00/t para US\$

¹Engº de Minas/UFPE, D.Sc. em Engenharia Mineral/USP, Pesquisador Titular do CETEM/MCT.

²Engº Metalúrgico/UFRJ, D.Sc. em Engenharia Mineral/USP, Pesquisador Titular do CETEM/MCT.

161,90/t. Em ordem decrescente de tonelagem, os principais usos da atapulgita nos EUA, como carga e extensores são: fluido de perfuração; absorventes; miscelânea de usos na engenharia civil e como selantes; carreador de fertilizante; tinta; emulsão asfáltica; alimentação animal; clarificação, descoramento e filtragem de óleos minerais e graxas; e aplicações em cosmético, farmacêutica e médica etc. (Virta, 2008).

A sepiolita é um mineral com propriedades físico-químicas muito próximas da atapulgita e ambas pertencem ao grupo das hormitas. A Espanha detém 70% das reservas mundiais de sepiolita, mantendo sua liderança internacional na produção. O Grupo TOLSA SA é o maior produtor de sepiolita da Espanha e a mina e planta de beneficiamento encontram-se em Vicalvaro, próximo a Madrid. Em 2005, a Espanha produziu 800 mil toneladas de sepiolita e 20 mil toneladas de atapulgita. A maioria dessa produção destina-se ao mercado europeu como absorvente de dejetos de animais domésticos (*pet litter*), como carreador na agricultura e como lama de perfuração (Newman, 2007).

Os principais depósitos de atapulgita, no Brasil, estão situados no município de Guadalupe-PI, distribuídos por uma área de cerca de 700 km². Já foram realizados vários trabalhos de pesquisa visando o desenvolvimento de processos que permitam o aproveitamento dessa atapulgita, para diferentes usos industriais, tais como perfuração de poços, descoramento de óleos vegetais, minerais e animais e indústria farmacêutica (Almeida e Chaves, 1995; Luz, Almeida e Luciano, 1988; Neto *et al*, 1993; Almeida, 1994). Os resultados obtidos são promissores.

Existem hoje, no Piauí, duas empresas atuando na lavra e processamento da atapulgita de Guadalupe-PI (Mineradora Indústria Coimbra de Minério Ltda e Amobil Argila Modificada do Piauí Ltda). Encontram-se, em produção, as minas de atapulgita Grotão do Angico e Boa Vista, no município de Guadalupe-PI. A produção anual de atapulgita está por volta de 3.000 t. A atapulgita produzida é do tipo ativada com H₂SO₄, e vai para o mercado de clarificação de óleos vegetais (óleo de soja, algodão e outros), sebo animal e cera de carnaúba e é comercializada pelo preço fábrica (em Teresina) de R\$ 750,00/t (US\$ 454,00/t).

2. MINERALOGIA E GEOLOGIA

Mineralogia

A atapulgita e a sepiolita são dois argilominerais similares, pertencentes ao grupo das hormitas. Esses minerais são silicatos complexos de magnésio, com uma estrutura em canal aberto, formando cristais alongados (Figura 1). Podem apresentar substituições isomórficas parciais, do magnésio pelo alumínio e/ou ferro, caracterizando-se como uma estrutura cristalina ripiforme, semelhante aos anfibólios. Essas substituições do magnésio e ferro, nas camadas octaédricas dos minerais de argila, resultam num excesso de cargas negativas. Estas, associadas a altas superfícies específicas, tornam a atapulgita e sepiolita um sorvente para algumas moléculas polares ou íons positivos (Murray e Zhou, 2006). A capacidade de troca catiônica da atapulgita e sepiolita varia entre 20 e 50 miliequivalente por 100 g, o que não pode ser comparada com a esmectita, no entanto é maior do que a caulinita.

Esses dois minerais e a bentonita normalmente ocorrem associados. Apresentam várias propriedades comuns tais como área superficial de média a alta (125 a 210 m²/g), considerável capacidade de sorção e descoramento, ligante e capacidade de espessamento (Baltar *et al.*, 2003; Harben, 1997; Sousa Santos e Sousa Santos, 1984). Segundo estes últimos autores, a fórmula ideal da atapulgita/paligorsquita seria: R₅Si₈O₂₀(OH)₂(OH₂)₄.4H₂O. Nesta, o R é o cátion Mg²⁺, que pode ser substituído pelo Al³⁺, Fe³⁺, Fe²⁺, na folha octaédrica da camada 2:1.

Segundo Cavalcanti e Bezerra (1992), em todas as ocorrências de atapulgita estudadas no município de Guadalupe-PI, os minerais de argila presentes são atapulgita, caulinita, esmectita, ilita e clorita, com predomínio de atapulgita seguido de caulinita. Embora a atapulgita e sepiolita ocorram normalmente associadas, por serem dois minerais similares, os estudos geológicos, até então desenvolvidos em Guadalupe, não registraram a presença da sepiolita. No entanto, a flutuação no teor de Mg revela um zoneamento químico e apesar de ainda não ter sido encontrada, a presença de sepiolita não pode ser descartada (Resende, 1997).

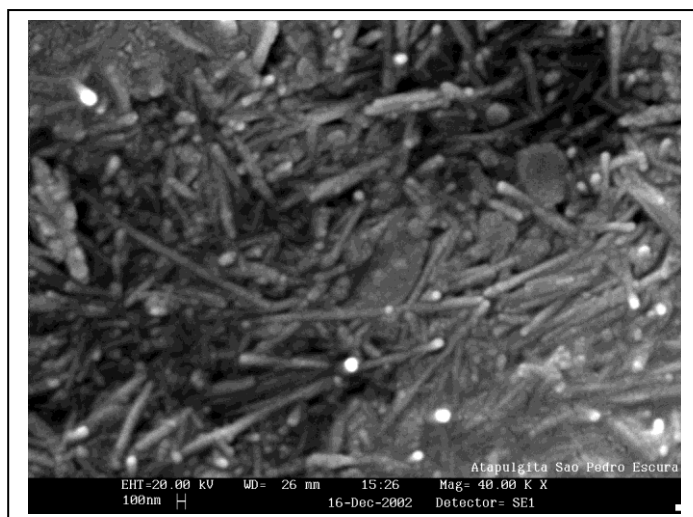


Figura 1 – Imagem de amostra de atapulgita de Guadalupe-PI (S. Pedro Escuro), por microscópio eletrônico de varredura (Baltar *et al.* 2003).

Baltar *et al.* (2003) estudaram as atapulgitas de Guadalupe-PI e compararam com atapulgitas de outras origens (Tabelas 1 e 2). Observaram que a atapulgita Boa Vista apresenta teor de Fe_2O_3 mais elevado e que as atapulgitas brasileiras têm teor de CaO mais baixo e de K_2O mais alto. Essas diferenças podem ser atribuídas ao teor e natureza das atapulgitas de Guadalupe e/ou aos tipos e teor de contaminantes.

Tabela 1 – Análise química de atapulgitas de Guadalupe-PI.

Teor (%)	São Pedro Clara	São Pedro Escuro	Boa Vista
SiO_2	68,5	66,7	57,9
Al_2O_3	10,3	9,1	12,1
Fe_2O_3	4,0	3,7	7,2
MgO	5,6	7,4	4,9
CaO	0,17	0,17	0,10
K_2O	1,2	0,83	2,2
Na_2O	0,10	0,11	0,14
MnO	0,12	1,1	0,50
P_2O_5	0,028	0,026	0,047
TiO_2	0,70	0,60	0,61
P.F.	9,50	11,06	13,37

Fonte: Baltar *et al.* (2003).

Tabela 2 – Composição química de atapulgitas de diferentes origens.

Teor (%)	Nizhnii-Novgorod, Rússia	Taodeni, Saara, Argélia	Nerchinsk, Sibéria, Rússia	Attapulgis, Georgia, EUA	Attapulgis, Georgia, EUA	Padrão CMS, Flórida*	Padrão OECD, Flórida*
SiO ₂	51,17	54,71	46,67	55,03	57,85	60,9	75,2
Al ₂ O ₃	13,73	13,48	9,84	10,24	7,89	10,4	9,7
Fe ₂ O ₃	1,55	2,10	0,93	3,53	2,82	3,4	3,1
FeO	0,31		1,22				
MgO	6,40	5,44	8,94	0,49	13,44	10,2	8,35
CaO	2,89	2,79	8,36		0,30	1,98	2,03
K ₂ O				0,47	0,08	0,80	0,74
Na ₂ O					0,53	0,06	0,14
Umid.	10,29	8,65	8,29	9,73	16,95		
P.F.	13,24	12,63	15,84	10,13		10,31	

Fonte: Grim (1968); Van Olphen e Fripiat citados por Baltar *et al.* (2003).

Geologia

Segundo Sousa Santos e Sousa Santos (1984), os sedimentos onde ocorrem a atapulgita e sepiolita podem ser lacustres, marinhos ou salinos. Esses depósitos podem ocorrer associados à montmorilonita. Segundo ainda esses mesmos autores, até o ano de 1964, todas as ocorrências conhecidas eram de origem lacustre. Isto é atribuído ao fato de não se ter percebido que esses argilominerais apresentavam características de sedimentação química alcalina, em ambiente lacustre.

Os depósitos de atapulgita da Flórida e Geórgia têm a sua origem atribuída à alteração de detritos vulcânicos, resultantes da alteração diagenética da montmorilonita proveniente de rochas cristalinas, no continente, conforme citado por Murray e Zhou (2006). Segundo ainda esses mesmos autores, a deposição de materiais ricos em paligorsquita ocorreu em águas rasas, caracterizadas pela flutuação de salinidade e que, em alguma época, as lagoas estiveram fechadas à circulação, de forma que a presença do Mg foi suficiente para formar a paligorsquita. O conteúdo mineralógico desses depósitos varia de paligorsquita (atapulgita), em Quincy-Flórida e Atapulgis-Geórgia, a uma mistura de paligorsquita e esmectita, na região norte do distrito, nas proximidades de Ochlocknee e Meigs, Geórgia.

Segundo Resende (1997), as primeiras referências sobre as ocorrências de atapulgita de Guadalupe, estado do Piauí, datam de 1982. Estas estão distribuídas por uma área aproximada de 70 km², em corpos que alcançam mais de 500 m de comprimento e espessuras de até 17 m. A seqüência argilosa é constituída por camadas atapulgíticas e caulíníticas. Na camada atapulgítica (paligorskítica) são definidas três fácies distintas: São Pedro, Terra Branca e Cemitério. Na fácies S. Pedro, a atapulgita ocorre nas localidades de S. Pedro, Canabrava e Grotão do Angico. Nessa fácies, a atapulgita se encontra pura ou associada aos minerais de caulinita, esmectita, ilita e clorita. A fácies Terra Branca ocorre no local denominado Terra Branca e o minério de atapulgita caracteriza-se pela predominância de calcita (60%) e pela presença de fósseis. A fácies Cemitério apresenta uma densidade muito baixa e ocorre na região de Boa Vista. Possui mineralogia semelhante às demais fácies e é constituída por atapulgita, caulinita, esmectita, ilita e clorita (Cavalcante & Bezerra, 1992). Segundo ainda esses mesmos autores, a associação com nódulos de manganês, carbonatos, sílex e gastrópodos, sugere que a atapulgita de Guadalupe-PI foi neoformada em ambiente marinho, em condições possivelmente similares às ocorridas nas bacias de Togo, Dahoney, Senegal e Sudão Ocidental.

Na Região de Sento Sé, norte do Estado da Bahia, foram coletadas amostras de solos e, a seguir, submetidas a análises mineralógicas por difração de raios-X e microscopia eletrônica de varredura. Nos resultados obtidos identificaram a presença de atapulgita (Ribeiro, 1996). Trata-se de uma simples ocorrência, sem nenhum valor comercial.

3. LAVRA E PROCESSAMENTO

A atapulgita ou paligorsquita é extraída mundialmente por lavra a céu aberto, usando o método de tiras. Neste são usados motor-escreipers, dragas, tratores etc. A argila lavrada é transportada, por caminhões fora de estrada, para a unidade de processamento. O processamento da atapulgita/paligorsquita é simples e normalmente envolve britagem, secagem, classificação e moagem. No caso de usos específicos, é feita extrusão da argila para separar partículas alongadas do grupo das hormitas, adicionando-se durante o processo de extrusão, 1 a 2% de MgO, para melhorar as propriedades reológicas do produto, visando o uso como fluido de perfuração (Murray e Zhou 2006).

As principais minas de sepiolita da Espanha encontram-se nas províncias de Madrid e Toledo. Os depósitos de Valecas-Vicalvaro cobrem uma área de 6,6 km² ao nordeste de Madrid e são considerados os maiores depósitos de sepiolita do mundo. A sepiolita é explotada em duas camadas, cujo conteúdo em sepiolita varia de 65 a 95%. As principais impurezas no minério de sepiolita são: quartzo, ilita, feldspato e carbonatos (Harben, 1997).

Segundo ainda esse mesmo autor, a empresa Tolsa SA é a maior produtora mundial de sepiolita, com uma lavra a céu aberto na região de Vicalvaro-Yunclillos, província de Madrid, Espanha. A camada mineralizada em sepiolita encontra-se a cerca de 40 m de profundidade. A cobertura de estéril da mina é usada como enchimento da cava, permitindo assim uma futura reabilitação da área minerada. O desmonte da rocha e o carregamento em caminhões fora de estrada são feitos com o auxílio de retro-escavadeira (Figura 2).

A sepiolita tem uma capacidade elevada de absorção e, por isto, na província de Madrid, a sua lavra é feita de preferência no período mais seco do ano, de maio a outubro. O clima seco favorece a secagem natural ao ar livre, durante a qual a sepiolita é colocada em pátio e revolvida, periodicamente, com o auxílio de trator, para baixar a umidade. Em seguida, essa é transportada para a unidade industrial, onde se completa a secagem em secador rotativo, até atingir uma umidade de 10%, adequada à moagem.

O minério proveniente do pátio de secagem é submetido a uma britagem primária, secundária e terciária, sofrendo uma redução de 200 para 4 mm. O produto da britagem vai para um secador rotativo onde a umidade é reduzida de 40 para 10% e a seguir vai para a moagem, obtendo-se um produto grosso e um produto fino.

A empresa Tolsa SA processa anualmente 600 mil toneladas de sepiolita, colocando no mercado diferentes produtos: 65% para uso como cama de animais domésticos (*pet litter*), 25% para alimentação animal e tipos especiais derivados de sepiolitas com alto teor (95%) para usos como produtos de maior valor agregado, destinados ao uso como suporte catalítico, elastômetro etc.



Figura 2 – Frente de lavra da mina de sepiolita da Tolsa SA, na região de Vicalvaro-Yuncillos-Província de Madrid-Espanha (Luz e Baltar, 2002).

O beneficiamento da atapulgita e da sepiolita consiste basicamente de britagem, secagem e moagem. Eventualmente, poderão ser submetidas a algum beneficiamento visando a remoção de materiais argilosos. Para fluido de perfuração de petróleo, a atapulgita deverá atender às Normas API – American Petroleum Institute. No caso do Brasil, essas especificações já constam das normas da Petrobrás (PETROBRAS, 1984).

No caso da atapulgita não atender as especificações requeridas de viscosidade para fluido de perfuração, essa poderá ser aumentada mediante a sua ativação com MgO hidratável ou Mg(OH), em adições em torno de 1,5% (US Patent, 1965).

Almeida (1994) estudou as atapulgitas de Guadalupe - PI (São Pedro, Grotão do Angico, Boa Vista e Terra Branca) visando o seu uso como fluido de perfuração de poços de petróleo, atendo-se, particularmente, às especificações da Petrobras (N-1969). Nenhuma das quatro amostras estudadas, quando apenas moídas abaixo de 200 malhas (74 μm), atingiu o limite mínimo de viscosidade (15 cP) requerido pela norma Petrobrás. Esses resultados foram atribuídos ao alto teor de quartzo (> 20%) detectado na caracterização mineralógica de três das amostras estudadas. Para contornar esse problema, essa impureza de

quartzo foi removida por separação em peneira de 200 malhas e o passante, após ativação com 1,5% MgO, aumentou a viscosidade aparente da atapulgita São Pedro de 17 para 27 cP.

Almeida (1994) estudou também, em escala de laboratório, o processamento das atapulgitas de Guadalupe-PI, visando o seu uso no descoramento de óleo mineral e vegetal. No caso do descoramento de óleo mineral, teve-se como meta a obtenção de produtos com cor ASTM $\leq 4,5$, limite estabelecido pela Petrobrás. Para aplicação em descorante de óleos, a ativação térmica da atapulgita entre 200 e 400 °C poderá resultar numa desidratação e/ou desidroxilação da atapulgita, aumentando a sua área de superfície e a capacidade de adsorção, o que contribui para melhorar o poder de descoramento da argila (Sousa Santos e Sousa Santos, 1984; Haden e Shwint, 1967).

Atualmente, o estado do Piauí produz atapulgita, no município de Guadalupe. Duas minas (Grotão do Angico e Boa Vista) encontram-se em produção. O método de lavra empregado é a céu aberto. O minério explotado é transportado para Teresina-PI por caminhão, para ser processado na usina da empresa Amobil Argila Modificada do Piauí Ltda. Nesta, o minério de atapulgita é britado abaixo de 4 mm, colocado em um pátio ao ar livre, onde é feita a ativação ácida com H₂SO₄, por meio de aspersão. No verão, o produto resultante da ativação é seco ao sol ou submetido a um secador rotativo a gás, no período chuvoso. O produto obtido após secagem (umidade abaixo de 10%) é moído em moinho tipo Raymond, abaixo de 325 malhas e colocado no mercado para clarificação de óleos vegetais, sebo animal e cera de carnaúba.

4. USOS E FUNÇÕES

A atapulgita e sepiolita têm os mesmos usos:

Carreador de fertilizantes e defensivos agrícolas	Absorvente de óleo e graxa
Agricultura, como condicionador de solos	Lama de perfuração
Cama de animais domésticos (<i>pet litter</i>)	Indústria de tinta
Clarificação, descolorimento e filtração de óleos e graxas	Aditivo de alimentação animal
Purificação de águas domésticas e industriais	Aplicações têxteis
Aplicações farmacêuticas, médicas e cosméticas	Revestimento de piso cerâmico
Refino e processamento químico de derivados de petróleo	Revestimento asfáltico
Indústria de cimento (pozolanas, impermeabilizantes, plastificantes)	Adesivos

A presença de microporos e canais na estrutura da sepiolita e atapulgita, bem como a natureza alongada das partículas (Foto 1) e a sua granulometria fina, conferem uma alta superfície específica a essas argilas e capacidade de absorção e dessorção de diferentes tipos de materiais. A superfície específica desses minerais varia de 150 m²/g (atapulgita) a 300 m²/g (sepiolita). Esta possui uma maior seção que permite um acesso mais fácil aos canais (Santarém, 1993).

Fluido de Perfuração - A atapulgita tem a função de controlar a viscosidade da suspensão água argila. Essa propriedade é atribuída à forma alongada dos minerais de atapulgita e sepiolita. É usada em fluidos de perfuração que atravessam formações contendo sais de sódio, cálcio e magnésio, em substituição à bentonita. Esta, ao saturar-se com esses sais, leva o fluido a flocular, perdendo as suas propriedades tixotrópicas (Haden Junior & Shwint, 1967; Ampian, 1979).

A atapulgita poderá também ser usada na perfuração de poços de petróleo, na plataforma continental, tendo em vista ser possível utilizar a própria água do mar, na preparação do fluido de perfuração, sem que este perca as suas propriedades tixotrópicas. A explicação da resistência à floculação da atapulgita e sepiolita, quando dispersas em água contendo sais, é atribuída à massa de partículas alongadas formando uma malha (Murray e Zhou, 2006).

Descoramento de Óleos - As atapulgitas americanas de Attapulcus, Geórgia e Quincy, na Florida, são classificadas na literatura como terra *fuller* e usadas no descoramento de óleos vegetais, animais e minerais (Sousa Santos, 1992). Terra fuller, segundo Ladco e Myers (1953), citado por Luz *et al.* (1988), é o termo empregado para denominar argilominerais que já possuem, naturalmente, a capacidade de descorar óleos vegetais, minerais e animais, sem nenhum tratamento térmico ou químico.

Absorvente - A sepiolita ou atapulgita, quando usada como cama de animais domésticos (*pet litter*), tem a particularidade de absorver a urina do animal, formando pequenas placas que são retiradas, periodicamente, e substituídas por um material novo. Esses minerais além de absorver os dejetos líquidos, diminuem as emissões de odores, que incomodam os proprietários dos animais e os próprios animais.

Aplicações Farmacêuticas - A atapulgita quando ativada tem uma capacidade de adsorção de 5 a 8 vezes maior para alcalóides (estricnina e quinina), bactérias e toxinas, justificando assim o seu uso na composição de produtos farmacêuticos (Neto *et al.*, 1993).

Carreador e Agente Suspensor de Fertilizantes, Tinta, Adesivos e Defensivos Agrícolas - A atapulgita e sepiolita quando dispersas em água, formam uma rede entranhada de partículas, de forma aleatória, conferindo propriedades espessantes, suspensoras e tixotrópicas (gel) à suspensão. A viscosidade da suspensão pode ser manipulada através da concentração de sólidos, agitação e pH. Estas características, combinadas com a inércia química, permitem que os minerais do grupo das hormitas sejam usados como carreador de fertilizantes, agentes suspensores de tintas, adesivos e defensivos agrícolas líquidos.

Aditivo de Alimentação Animal - A atapulgita e a sepiolita são usados como ligantes para alimentos pelotizados e carreador de suplementos (minerais, vitaminas, antibióticos etc).

5. ESPECIFICAÇÕES

a) Fluido de perfuração de poços de petróleo

No Brasil, as especificações requeridas para uso de atapulgita, como fluido de perfuração de poços de petróleo, são regidas pela Norma Petrobrás N-1969.

Segundo Baltar e Luz (2003), as especificações requeridas para fluido de perfuração de poços de petróleo e gás são:

- (i) granulometria < 75 μm ;
- (ii) viscosidade aparente : 15cP (mínimo);
- (iii) teor de quartzo: 8 %(máximo);
- (iv) resíduo em peneira com abertura de 75 μm : 8 %(máximo);
- (v) umidade: 16 %(máximo).

b) Produtos Farmacêuticos

Uma solução de azul de metileno, a 0,15% (p/v), quando em contato (agitação seguida de separação por centrifugação) com 2 g de argila (atapulgita), deve resultar em um sobrenadante incolor. O azul de metileno é o adsorvato de referência empregado pelas farmacopéias (Neto *et al.* 1993).

c) Sepiolita ou Atapulgita para Cama de Animal Doméstico

Depende da absorção, densidade aparente, distribuição granulométrica, formação de pó e odor.

d) Alimentação Animal

As especificações requeridas da sepiolita, para alimentação animal são:

Propriedades físicas	Ligante	Agente anti-aglomerante e carreador
Malhas (ASTM)	< 100	50 a 20
Densidade aparente (g/l)	545±40	615±30
Umidade (%)	8±2	8±
Absorção de óleo tipo Westinghouse (%)	-	92±7
Absorção de óleo de linhaça (%)	93±	-
Retenção de água (%)	150	147
Dureza Mohs	2,0-2,5	2,0-2,5
Capacidade de troca catiônica (meq/100g)	15±	15±

Fonte: Tolsa AS, Espanha (Harben, 1995)

e) Especificação de atapulgita para descoramento de óleo

Óleo mineral: após descoramento: cor ASTM < 4,5 e granulometria < 200 malhas.

Óleo Vegetal: a seguir encontram-se as especificações de atapulgita para descoramento de óleo vegetal:

Cor ⁽⁴⁾	Atapulgita de Guadalupe-PI(1)	Produto Comercial: Filtrex	Atapulgita de Guadalupe-PI ⁽²⁾	Produto Comercial Caluinex
Amarela	30	30	35	35
Vermelha	7,5	9,0	6,5	8,0
Vermelho ⁽¹⁾	7,5		10,0	

(1) cor máxima permitida.

(2) Ensaio industrial na empresa Siqueira Gurgel.

(3) Ensaio industrial na empresa Concentral.

(4) Determinada em calorímetro Lovibond.

f) Especificações de uma atapulgita comercial

Mineralogia	(%)	0416G	1630G	2560G	050F	080F
Atapulgita	80-90	4,75 mm-1,18 mm	1,18 mm-0,60 mm	0,71 mm-0,25 mm	85-95%-250 µm	85-95%-160 µm
Quartzo	5-10	TMP 2,36 mm	TMP 0,85 mm	TMP 0,425 mm	TMP 160 µm	TMP 35 µm
Dolomita	0-10	+4,75 mm 3,0% máx.	+1,18 mm 3,0% máx.	+0,71 mm 3,0% máx.		
Caulim	0-10	-1,18 mm 7,0% máx.	-0,60 mm 7,0% máx.	-0,25 mm 7,0% máx.		
Análise Química (típica)		(%)		Propriedades Físicas		
SiO ₂		58,5	Cor		Branca e cinza	
Al ₂ O ₃		11,8	Umidade		3,0-8,0%(peso/peso)	
MgO		5,3	Densidade aparente		0,45-0,65g/cm ³ (450-650kg/m ³)	
Fe ₂ O ₃		4	Absorção de água		80-120% (peso/peso)	
CaO		1,6	Absorção de óleo		70-110% (peso/peso)	
K ₂ O		1,8	Área superficial (BET)		135-140 m ² /g	
Outros óxidos		1,5	Capacidade de troca catiônica		30-40 m eq./100g	
Perda ao fogo		15,5	PH (suspensão 5%)		7,5 - 9,5	

Fonte: Harben (1995).

TMP = Tamanho médio da partícula.

6. MINERAIS E MATERIAIS ALTERNATIVOS

A sepiolita e atapulgita por terem propriedades físico-químicas muito próximas, terminam por se constituírem em materiais que competem entre si, na maioria das aplicações. A sepiolita e a atapulgita têm como competidores, conforme o uso:

- (i) alimentação animal – bentonita, talco, vermiculita e zeolitas;
- (ii) *pet litter* – bentonita, diatomita, gipsita e zeolitas;
- (iii) carreadores – bentonita, diatomita, caulim, pirofilita, talco, vermiculita e zeolitas;
- (iv) agente espessante e gelificante – bentonita, polímeros.

AGRADECIMENTOS

Ao estudante de engenharia da Escola de Engenharia de Minas de Madrid, Oscar Lopes Encinas, pelos dados fornecidos sobre a mineração de sepiolita, na Espanha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, S. L. M. (1994). Usos Industriais da Atapulgita de Guadalupe-PI. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 63p., São Paulo-SP, 1994.
- ALMEIDA, S. L. M.; CHAVES, A. P. (1995). Usos Industriais da Atapulgita de Gaudalupe-PI. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP: BT/PMI/032, Departamento de Engenharia de Minas, 16 p.
- AMPIAM, S. G. Clays. (1979). Washington, D. C., United States Bureau of Mines, Jul. 1979. Mineral Commodity Profile. p. 3.
- BALTAR, C. A. M; LUZ, A. B.; OLIVEIRA, C. H.; BALTAR, L. M. (2003). Caracterização mineralógica e tecnológica de atapulgitas de Piauí. In: Insumos minerais para a perfuração de poços de petróleo, Rio de Janeiro, UFPE/CETEM, 2003, p. 85-102.
- CAVALCANTI, V. M. M.; BEZERRA, A. T. (1992). Atapulgita de Guadalupe-PI. Revista de Geologia 1992, vol. 5, p. 99-114.
- Estatística Minera de Espanha y Secciones de Minas, 2001.
- HADEN JUNIOR, W. L; SHWINT, I. A. (1967). Attapulgitite its properties and applications. Industrial and Engineering Chemistry, Washington, Easton, Pa, 59(9): 59-69, Sept 1967.
- HARBEN, P. W. (1995). Atapulgitite & Sepiolite. The Industrial Minerals Handbook, 2nd Edition, 1995. p. 9-11.
- HARBEN, P. W. (1997). Atapulgitite and Sepiolite. In: Industrial Mineral – A Global Geology, P. W. Harben & Kuzvart. p. 139-141.

- MURRAY, H. H., ZHOU, H. (2006). Palygorskite and Sepiolite (Hormites). In: Industrial Minerals and Rocks, 7th Edition, Jessica Elzea, Kogel, Nikhil Trivedi, James N. Backer Stanley T. Krukowski, p. 401-406.
- LUZ, A. B.; ALMEIDA, S. L. M.; RAMOS, L. T. S. (1988). Estudos tecnológicos para aproveitamento da atapulgita de Guadalupe-PI, Série Tecnologia Mineral nº42, CETEM, 43 p, Brasília, 1988.
- LUZ, A. B. e BALTAR, C. A. M. (2002). Visita técnica às minerações de minerais industriais da Espanha. RV – 2002-013-00-CETEM, 2002.
- NETO, J. P.; ALMEIDA, S. L. M.; CARVALHO, R. M. (1993). Atapulgita do Piauí para a Indústria Farmacêutica. Série Tecnologia Mineral nº 64, CETEM/CNPq, 22p. Rio de Janeiro, 1993.
- NEWMAN, H. R. (2007). The Mineral Industry of Spain. In: Mineral Yearbook 2005, U.S. Geological Survey, August 2007, p. 21.1-21.21.
- PETROBRAS. Ensaio de atapulgita (Método). N-1967, agosto/84; atapulgita para fluido de perfuração (especificação), N-1969, agosto de 1984.
- RESENDE, N. G. A. M. (1997). Argilas nobres e zeolitas na Bacia do Parnaíba. Relatório Final de Projeto, Superintendência Regional de Belém, 33p., 1997.
- RIBEIRO, L. P. Atapulgita em solos da região de Sento Sé, Bahia-Brasil. In: Geoquímica Brasiliensis, Geochim, Brasil, 10(2): 401-415, 1996.
- SANTARÉM, J. (1993). European market developments for absorbent clays, Industrial Minerals, 1993, p. 35 - 47.
- SOUZA SANTOS, P e SOUZA SANTOS, H. Ocorrências brasileiras de argilas contendo argilo-minerais do grupo das hormitas (palygorskita-atapulgita-sepiolita). Cerâmica. São Paulo, vol. 30, nº.179, novembro de 1984, p. 319-336.
- SOUZA SANTOS, P. Tecnologia de Argilas. São Paulo. Edigar Blucher Ltda, 1992, vol. 2, p. 687-716.
- UNITED STATES, Patent Office nº 3220947. Nov. 1965.
- VIRTA, R. L. (2008). Clay and Shale. In: 2006 Mineral Yearbook, U.S Geological Survey, January 2008, p. 18.1 - 18.24.