



ISSN: 2230-9926

Available online at <http://www.journalijdr.com>

# IJDR

International Journal of Development Research

Vol. 11, Issue, 07, pp. 48751-48756, July, 2021

<https://doi.org/10.37118/ijdr.22257.07.2021>



RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

## APLICAÇÕES INDUSTRIAIS DA ARGILA PALIGORSQUITA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Ronyson de Lima Lopes\*, Érico Rodrigues Gomes and Gilvan Moreira

Programa de Pós - Graduação em Engenharia de Materiais – PPGEM/IFPI, Teresina, Piauí, Brasil

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 11<sup>th</sup> April, 2021  
Received in revised form  
03<sup>rd</sup> May, 2021  
Accepted 16<sup>th</sup> June, 2021  
Published online 28<sup>th</sup> July, 2021

#### Key Words:

Atapulgita, Paligorsquita,  
Aplicações Industriais, Argila.

\*Corresponding author:  
Ronyson de Lima Lopes

### ABSTRACT

O mineral paligorsquita é um silicato complexo de magnésio que possui cristais alongados. Nome atribuído por Lapparent a uma terra fuller descoberta em 1935 em Attapulgis na Geórgia (EUA) e em Mormoiron, França [21]. A paligorsquita é encontrada na zona rural do município de Guadalupe, no Estado do Piauí-Brasil [5]. Os sedimentos onde ocorrem a paligorsquita podem ter origem lacustres, marinhos ou salinos, podendo ter montmorilonita associada [34]. O objetivo do presente artigo foi realizar uma revisão bibliográfica sobre as aplicações industriais da argila paligorsquita. A seleção da literatura revisada foi feita a partir da base de dados como o Periódicos-CAPEs, Scielo, Science Direct e Google Scholar. Os descritores utilizados na busca nas bases de dados foram “Atapulgita”, “Paligorsquita”, “Atapulgitite” e “Palygorskite”. Foram incluídos artigos publicados em inglês e português de 2016 a 2021. Critério de exclusão: artigos duplicados. Na pesquisa foram encontrados no total 17.784 itens, sendo selecionados 349 trabalhos para estudo. A paligorsquita possui diversos usos industriais e grande potencial para mais utilizações implicando na melhoria e inovação das atividades do agronegócio, beleza e cosméticos, construção civil, alimentos, produção de cloro-soda, aditivos/lubrificantes, corantes, eletrônicos, produtos farmacêuticos, atividade petrolífera, química, tratamentos médicos, odontologia, atividades da mineração e meio ambiente.

Copyright © 2021, Ronyson de Lima Lopes et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Ronyson de Lima Lopes, Érico Rodrigues Gomes and Gilvan Moreira, 2021. “Aplicações industriais da argila paligorsquita: uma revisão bibliográfica”, *International Journal of Development Research*, 11, (07), 48751-48756.

## INTRODUCTION

O mineral paligorsquita é um silicato complexo de magnésio que possui cristais alongados. Nome atribuído por Lapparent a uma terra fuller descoberta em 1935 em Attapulgis na Geórgia (EUA) e em Mormoiron, França. Lapparent achava que a Atapulgita era diferente da Paligorsquita (descoberta em 1861 nos Montes Urais, União Soviética), no entanto foi demonstrado posteriormente, usando técnicas mais adequadas, como difração de raios-X (DRX), microsonda eletrônica e análise termodiferencial, que estes minerais dizem respeito a uma mesma espécie [21]. “A argila Paligorsquita é um silicato de magnésio e alumínio hidratado com uma morfologia microfibrilar alongada, apresentando grupos reativos em sua superfície.” [22]. Por conta da sua estrutura única e grande área de superfície, é um suporte muito bom para a imobilização de catalisadores na remoção de poluentes [6].

Segundo o comitê de nomenclatura de argilominerais da AIPEA (Associação Internacional para o estudo de Argilas) [3] a paligorsquita<sup>1</sup> é classificada como um argilomineral não planar,

do tipo 2:1, que pertence ao grupo das hormitas. É um silicato complexo de magnésio, que apresenta uma estrutura em canal aberto, formando cristais alongados e geralmente com aspecto fibroso. Pode apresentar substituições isomórficas parciais do magnésio pelo alumínio e/ou ferro, caracterizando-se como uma estrutura cristalina semelhante aos anfíbios. Apresenta inúmeras aplicações industriais, com destaque para fluidos de perfuração, catálise, carreadores na agricultura, absorventes industriais entre outros [1]. A paligorsquita e a sepiolita são dois argilominerais similares, pertencentes ao grupo das hormitas. A capacidade de troca catiônica (CTC) da paligorsquita e sepiolita varia entre 20 e 50 miliequivalente por 100g, o que não pode ser comparada com CTC da esmectita; no entanto é maior do que a da caulinita [21].

A paligorsquita é encontrada na zona rural do município de Guadalupe, no Estado do Piauí-Brasil (06°47'13" S; 43°34'08" N) [5]. Diversas pesquisas visam o desenvolvimento de processos que aproveitem a paligorsquita para diferentes usos industriais, tais como perfuração de poços, decoloramento de óleos vegetais, minerais e animais e indústria farmacêutica [21]. Os sedimentos onde ocorrem a

<sup>1</sup> O termo “Atapulgita” encontrado nos artigos foi substituído por

“Paligorsquita”.

paligorsquita podem ser lacustres, marinhos ou salinos, podendo ser associados à montmorilonita. Até o ano de 1964, todas as ocorrências conhecidas eram de origem lacustre. Isto porque foi percebido que esses argilominerais apresentavam características de sedimentação química alcalina em ambiente lacustre [34]. Segundo Ribeiro [31], na Região de Sento Sé no norte do Estado da Bahia, foram coletadas amostras de solos e submetidas a análises mineralógicas por DRX e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados identificaram uma ocorrência de paligorsquita. Faz-se necessário uma revisão bibliográfica sobre a paligorsquita – o objetivo do presente artigo - para que conheçamos melhor as suas atuais e as novas aplicações industriais que surgiram nos últimos anos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A seleção da literatura foi realizada a partir da base de dados como o Periódicos-CAPEs, Scielo, Science Direct e Google Scholar. Os descritores utilizados na busca nas bases de dados foram “Atapulgita”, “Paligorsquita”, “Attapulgitite” e “Palygorskite”. Foram incluídas as publicações em inglês e português de 2016 a 2021. Critério de exclusão: duplicidade de referências. Selecionou-se os trabalhos que descrevessem pesquisas com aplicações da argila paligorsquita. Conforme finalizado o processo de seleção dos trabalhos, as questões norteadoras seguiram as seguintes considerações: Quais as aplicações e possíveis usos?

## RESULTADOS

A pesquisa teve início com a seleção dos trabalhos, dentre os selecionados, encontra-se artigos, teses e dissertações relacionadas com o objeto da pesquisa (quadro 1).

**Quadro 1. Triagem dos estudos com paligorsquita encontrados nas bases de dados pesquisadas**

| Base             | Resultados | Selecionados |
|------------------|------------|--------------|
| Periódicos-CAPEs | 3.651      | 164          |
| Science Direct   | 3.729      | 134          |
| Google Scholar   | 10.400     | 49           |
| Scielo           | 4          | 2            |

Após a fase de seleção, os trabalhos foram subdivididos em tipos de funcionalidades da argila pali-gorsquita, como mostra o Quadro 2. Após a fase de subdivisão das funcionalidades, os trabalhos foram subdivididos em categorias, conforme a área de aplicação industrial descrita para a argila paligorsquita, como mostra o Quadro 3.

## DISCUSSÃO

**Aplicações em agronegócio:** A aplicação de paligorsquita e pó de casca de ostra é capaz de diminuir efetivamente a biodisponibilidade do cádmio em um solo e restringir seu enriquecimento no arroz cultivado em solos moderadamente contaminados além de não causar poluição secundária. O aumento das concentrações de cálcio e magnésio trocáveis dos solos é um benefício adicional em solos ácidos, melhorando a qualidade do solo. Assim, as paligorsquitas e pós de casca de ostras com maior eficiência, menor custo e menor risco em comparação com outras correções, são alternativas promissoras para a remediação de solos contaminados com cádmio [19]. Em comparação com outras argilas, a paligorsquita é um bom substrato para materiais superabsorventes porque é menos sensível aos sais. Uma nova série de compósitos superabsorventes foi sintetizada por copolimerização enxertada de termogramas dos compósitos SCB-gP na espinha dorsal do bagaço de cana-de-açúcar na presença de paligorsquita. Com o aumento do teor de paligorsquita no compósito para 14,4% em peso, a taxa de liberação de uréia diminuiu, obtendo-se compósitos superabsorventes com liberação controlada de uréia [11].

**Quadro 2: Possíveis Usos da Argila Paligorsquita estudadas entre 2016 e 2021**

| Funcionalidades   | Quantitativo de trabalhos |
|---|---------------------------|
| Adsorção.   | 60                        |
| Remoção.  | 56                        |
| Catalisador; Fabricação de materiais híbridos.  | 19                        |
| Suplementação.  | 13                        |
| Melhoria de pastagem, resistividade, desenvolvimento intestinal, condutividade de hidróxido e desempenho catalítico; Redução catalítica de luz visível de Cr (VI), nitrofenol, poluentes, nitroarenes e corantes.   | 12                        |
| Imobilização  | 09                        |
| Combustível; Degradação de derivados de petróleo, nitrobenzeno e laranja metil.   | 08                        |
| Dessulfuração.  | 07                        |
| Aditivo; Baterias; Sorção de elementos químicos.  | 06                        |
| Determinação de vitamina, reguladores de crescimento em plantas e inseticidas; Pigmentos.   | 05                        |
| Aprimoramento; Absorção; Fluido de Perfuração; Nanocompósitos; Oxidação; Separação; Sensor.   | 04                        |
| Antimicrobios; Armazenamento; Carreador; Extração; Fármacos; Reforma de metano, ácido acético e guaiacol; Desintoxicação.   | 03                        |
| Asfalto; Agente Bactericida; Cromatografia; Estabilização; Fixação; Remediação; Recuperação; Tratamento de Águas.   | 02                        |
| Calcinação; Anticorrosivo; Compostagem; Controle de Umidade; Conversão; Cristalização; Cicatrização; Distribuição; Decomposição; Desidratação; Estrutura; Fertilizante; Fermentação; Hidrogenação; Migração; Metanação; Modificação; Prevenção; Preenchimento; Proteção; Revestimento; Reparo Ósseo; Retardamento de Chamas; Reforço Sinérgico; Máscaras Peel-Off; Isomeração de Glicose; Impedir a Drenagem de Verissolos. | 01                        |

**Quadro 3. Aplicações Industriais da Argila Paligorsquita**

| Aplicações industriais                                   | Quantidade de trabalhos |
|--|-------------------------|
| Meio Ambiente.   | 181                     |
| Indústria Química.                                       | 52                      |
| Agronegócio.   | 32                      |
| Indústria Petrolífera                                    | 18                      |
| Construção Civil.  | 17                      |
| Indústria Farmacêutica.                                  | 12                      |
| Indústria Eletrônica, Medicina.                          | 11                      |
| Indústria de Aditivos e Lubrificantes.                   | 04                      |
| Indústria dos Corantes, Mineração                        | 03                      |
| Indústria Alimentícia.                                   | 02                      |
| Beleza e Cosméticos, Odontologia e Indústria Cloro-Soda. | 01                      |

O sensor de umidade de paligorsquita tem excelente desempenho de detecção de umidade a 25 °C. A alteração da impedância do sensor é mais do que cinco ordens de magnitude na frequência de excitação de 100 Hz (0% - 91,5 RH). O tempo de resposta do sensor é de apenas 3 segundos. O sensor pode responder a umidade relativa (UR) de até 7,2%. Além disso, o sensor de umidade de paligorsquita tem pequena histerese de umidade (~ 3,4% UR), boa repetibilidade e estabilidade a longo prazo [42]. A pirólise converte biomassa em bio-óleo, syngás e um resíduo enriquecido com carbono conhecido como carvão, se usado como combustível, ou biochar, se aplicado ao solo. Há uma grande dificuldade em se aplicar o biochar devido ao seu alto custo de produção e à necessidade de aplicar pelo menos 1-5 t/ha para realizar a resposta da planta. O biochar com mistura de argila paligorsquita /estercos de iaque (proporção de 50:50) pode ser muito eficaz como um insumo de baixo custo para correção do solo, captura de carbono e outras aplicações ambientais [26].

**Aplicações na mineração:** Zeólita, paligorsquita e hidroxiapatita foram escolhidas como estabilizadores para explorar a técnica de estabilização de solo poluído com Vanádio. Aumentar o valor do pH aprimora intensamente a capacidade do solo de absorver metais

pesados. Os estabilizadores podem e efetivamente converter a fração V mais biodisponível em uma especiação muito menos biodisponível ainda mais quando combinados com o aumento do pH do solo. Vale explicar que depois que o estabilizador foi adicionado, o valor do pH do solo aumentou rapidamente e de modo significativo [15]. Um inibidor composto de cálcio-procianidina-paligorsquitaquelatado foi sintetizado e usado para suprimir o autoaquecimento e a combustão espontânea do carvão. A oxidação do carvão diminuiu devido à adição de inibidor do composto cálcio-procianidina-paligorsquita quelado eliminando os radicais livres e mantendo o carvão hidratado[39].

**Aplicações em beleza e cosmético:** Foi desenvolvida uma máscara facial peel-off a partir da argila paligorsquita. O uso dessa argila natural, facilmente encontrada de forma abundante em território nacional, é adequado para uso em dermocosméticos, do ponto de vista físico-químico [20].

**Aplicações em odontologia:** Ativar a argila paligorsquita e o carvão do babaçu promovem alterações em suas estruturas, afim de melhorar seu poder de adsorção. Com a ativação e consequente melhoria adsorptiva, o carvão de babaçu e a argila paligorsquita são bastante promissores para se desenvolver clareados dentais. Contudo, são necessários estudos específicos que comprovem a ação adsorptiva desses materiais na superfície dos dentes [33].

**Aplicações na construção civil:** O estireno-butadieno-estireno (SBS) composto com a paligorsquita nano-orgânica (O-PAL) foi sintetizado para melhorar o desempenho do asfalto. Uma quantidade apropriada (3% em peso) de O-PAL para SBS no asfalto pode aumentar a energia livre da superfície e melhorar, significativamente, a adesão de agregados ácidos mais fracos. O fator de desgaste do asfalto pode ser aumentado para 85,1 °C. Considerando as propriedades e o benefício econômico, 3% em peso de O-PAL com 5% em peso de SBS é a combinação recomendada para modificar asfalto, que tem excelente estabilidade à água [16]. A estrutura aprimorada de fibra inorgânica nos compostos de oxidocloreto de magnésio sustentável (MOC) foi construída com sucesso empregando-se a paligorsquita ativada por ácido (APal). O composto MOC-APal exibiu melhorias tanto na resistência à água quanto na resistência à compressão do cimento[41]. A adição de nanocontêineres de paligorsquita carregados com benzotriazol à resina epóxi, melhora os desempenhos de proteção passiva e ativa contra corrosão do revestimento em aço carbono. O uso de nanocontêineres contendo inibidores de corrosão fornece uma abordagem prospectiva para a proteção ativa contra corrosão de substratos metálicos [37]. As propriedades higrótérmicas contribuem para o controle do calor em edificações no inverno e no verão, reduzindo o fluxo de calor pelas paredes e também a necessidade de aquecimento/resfriamento, economizando assim o consumo de energia. Diferentes tipos de placas de fibra de bambu com bioisolamento têm sido feitos de fibras de bambu e diferentes conteúdos de paligorsquita por termo-prensagem. A adição de paligorsquita em uma placa de bambu leva ao aumento da capacidade de absorção de umidade em diferentes níveis de umidade relativa. Também aumenta o valor do buffer de umidade e, em seguida, a capacidade do buffer[10].

**Aplicações na indústria alimentícia:** Um novo nanocompósito híbrido (paligorsquita @Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> @ZIF-8) foi sintetizado com sucesso por meio de um processo in loco, e usado como solvente para extração magnética de fase sólida (MSPE) e determinação de seis Benzolureias (Bus) em infusões de chá. As principais vantagens do método apresentado são processo de extração simples, baixo limite de detecção, boa precisão, ampla faixa dinâmica linear e excelente reutilização. As estruturas metálicas-orgânicas magnéticas modificadas com paligorsquita podem ser usadas como um adsorvente MSPE promissor [25]. A paligorsquita foi preparada e utilizada como agente dispersante de dispersão de matriz em fase sólida (MSPD) para extração simultânea de cádmio em amostras de surimi e lula. Em comparação com o Padrão Nacional Chinês GB 5009.15-2014, o método MSPD recentemente desenvolvido demonstrou repetibilidade aprimorada.

Além disso, excelente precisão, baixo limite de detecção (LOD) e alta repetibilidade, indicando que o método MSPD desenvolvido com base em polietilenoimina modificada com paligorsquita (PEI-modi) pode fornecer uma ferramenta poderosa para a extração de cádmio em amostras reais [35].

**Aplicações na indústria cloro-soda:** Os diafragmas poliméricos mais comercialmente difundidos são os da Polyramix® da ELTECH Systems e Tephram® da PPG Industries, sendo suas aplicações limitadas devido ao seu elevado custos de produção e, por consequência, de mercado. Foi feita a dopagem dos diafragmas poliméricos com a adição de argilas paligorsquitas da UBM, Brasil Minas e Basf. Os melhores resultados para produção de cloro-soda foram da argila paligorsquita da Basf (proporção de 75% de argila), apresentando eletrólise mais próximos do diafragma comercial Tephram® [30], fazendo com que a argila paligorsquita possa ser aplicada na produção de cloro-soda, barateando a produção e a deixando a produção mais limpa.

**Aplicações na indústria de aditivos e lubrificantes:** Os pós de argila paligorsquita podem ser adicionados a aditivos lubrificantes e então utilizados para redução do atrito e antidesgaste. Os desempenhos de redução do atrito e antidesgaste dos pós de paligorsquita em nanoescala (NPA) dependem do comportamento do atrito e do estado de formação [7].

**Aplicações na indústria dos corantes:** É possível fabricar um pigmento avermelhado com cor e estabilidade aprimoradas usando paligorsquita natural (APT) como suporte. Os pigmentos híbridos ecológicos com cor vermelha brilhante e estabilidade superior foram sintetizados a partir de argila APT e Fe (III), sem a necessidade de quaisquer precipitantes químicos. O pigmento pode ser revestido em diferentes substratos e mostra melhor estabilidade térmica e estabilidade de suspensão em água e álcool, o que o torna potencial para ser usado como corante econômico e seguro para aplicações em muitos campos como tingimento, pintura, revestimento, impressão, tinta e fabricação de papel [13]. Pigmentos híbridos amarelo de bismuto foram preparados com sucesso através do método sol-gel na presença de paligorsquita. A introdução de paligorsquita melhorou as propriedades de cor na matriz, bem como diminuiu o custo de produção do pigmento amarelo de bismuto. Conforme for preparado, o pigmento híbrido pode ser aplicado em polímeros hidrofóbicos e também em resina hidrofílica como corante com baixo custo [36].

**Aplicações na indústria eletrônica:** Um novo separador composto de poli (orgânico Pal-co-metacrilato de metila) (p (OPal-MMA) @CPM) foi desenvolvido pela introdução argila paligorsquita em camadas de revestimento de polímero (p (OPal-MMA) em ambos os lados de um separador de CPM. Espera-se que o separador avançado p (OPal-MMA) @CPM com carga excelente, desempenho de descarga e baixa perda resistiva possa ser aplicado a nível industrial [18]. Por meio de paligorsquita revestida de carbono com espuma de níquel (NF) e, em seguida, crescendo hidrotermicamente nanobastões de NiCo<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, um eletrodo baseado em NF de alto desempenho foi obtido. Usando paligorsquita bruta não condutiva diretamente por NF pode-se obter melhor desempenho do eletrodo baseado em NF[28]. Pode ser produzido paligorsquita (ATP) @ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>- cristal líquido com base em domínios altamente alinhados induzidos por um campo magnético externo. A cor da fase de cristal líquido também pode ser regulada pela concentração de nanocompósitos semelhantes a barras coloidais. A alta controlabilidade da fase de cristal líquido inorgânico faz com que a presente estratégia seja uma nova plataforma para conversão de estímulos magnéticos em informações ópticas, como a fabricação de novos dispositivos de exibição óptica, fornecendo uma abordagem promissora para dispositivos fotônicos [24].

**Aplicações na indústria farmacêutica:** Em um estudo de Damasceno [17], a argila paligorsquita foi utilizada como nanocarreador em sistemas de liberação pH-responsivos para os tuberculostáticos isoniazida e rifampicina. Ainda segundo autor (pág. 135-136):

A paligorsquita apresentou uma superfície dependente do pH, mostrando-se como um material potencial para liberação controlada de fármacos utilizados no tratamento da tuberculose, oferecendo maior biodisponibilidade de INH e RIF em pH que simula o ambiente intestinal (pH 6,8 e pH 7,4). O estudo cinético mostrou que o modelo de ordem zero e o modelo de Higuchi foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais na liberação de INH e RIF, respectivamente, indicando que os fármacos são liberados de forma modificada (pH-responsiva e prolongada) a partir da matriz inorgânica. Sendo assim, os medicamentos podem ser administrados em doses menores ao longo do dia, aumentando a sua eficácia terapêutica e reduzindo a sua toxicidade.

Foi desenvolvida uma coluna monolítica híbrida baseada em nanopartículas de paligorsquita por re-liculação de metacrilato de 3-trimetoxissililpropil ( $\gamma$ -maps) modificando a paligorsquita com acrilamida e N, N'-metilenobisacrilamida para a separação HILIC de compostos polares. A coluna monolítica híbrida resultante apresentou excelente desempenho com relação à morfologia, permeabilidade, propriedade mecânica e repetibilidade. Devido à forte hidrofobicidade, o monólito híbrido baseado em nanopartículas de paligorsquita foi usado com sucesso como uma fase estacionária para a separação HILIC capilar de compostos polares [23].

**Aplicações na indústria petrolífera:** Nanobastões de paligorsquita naturais (AT) foram introduzidos na matriz de alginato para fabricar membranas híbridas para desidratação de etanol. Os nanobastões de paligorsquita em membranas híbridas diminuíram a cristalinidade da matriz de alginato adjacente e aumentaram o teor de água não congelável, que poderia formar camadas de hidratação e ser tratada como parte de superfícies AT, facilitando o transporte de moléculas de água em membranas híbridas. Os canais seletivos em AT e o aumento do conteúdo de água não congelável nas membranas podem aumentar o desempenho das membranas para a desidratação do etanol [29]. Um catalisador básico sólido carregando KF e CaO em paligorsquita (KCa/Pal), foi usado para cata-lisar o transesterificador de óleo de soja com metanol para produção de biodiesel. Esse catalisador exibe alta atividade catalítica na reação de transesterificação. O catalisador é promissor para uso na produção contínua de biodiesel [40].

**Aplicações na indústria química:** O catalisador de composto de sacarose paligorsquita é considerado um melhor catalisador para a reação de alquilação e acetilação. A capacidade de reutilização dos catalisadores é excelente até quatro ciclos. A atividade catalítica da argila paligorsquita foi ainda melhorada por modificações de troca catiônica. A argila paligorsquita natural modificada é considerada ecologicamente correta, em um catalisador heterogêneo caro e reutilizável para reação de alquilação e reações de acetilação usando ácido acético em condições de reação moderadas [9]. O carregamento de níquel para a argila natural paligorsquita (ATPG) correlacionou claramente as propriedades físico-químicas dos catalisadores Ni/ATPG. O aumento da carga de níquel bloqueou os poros de ATPG, aliviou a interação entre as espécies de níquel e ATPG e, mais importante, eliminou uma porção significativa dos sítios alcalinos na superfície dos catalisadores. Isso impactou significativamente a rede de reação e a atividade dos catalisadores. Além disso, o aumento do teor de níquel poderia suprimir a formação de CO na região de temperatura amena e aumentou correspondentemente a seletividade de CH<sub>4</sub> O in situ [8]. Os óleos essenciais são líquidos oleosos aromáticos e voláteis; produtos naturais com estrutura terpênica que são caracterizados por um cheiro intenso. Portanto, é necessário utilizar o óleo essencial com sua importante atividade inseticida em aplicações ambientais. O paligorsquita é um bom adsorvente para compostos terpênicos fixos. Os organopaligorsquitos são mais eficientes para a adsorção de compostos terpênicos do que as paligorsquitas crus devido às propriedades de hidrofobicidade adquiridas [32].

**Aplicações na medicina:** Os resultados da terapia fototérmica induzida por infravermelho próximo (NIR) (PTT) *in vitro* e *in*

*vivo* indi-cam que o Au-nanocompósitos de paligorsquita podem ser usados como agentes PTT efetivos porque as células cancerígenas modelo (células A549) quase morreram depois de serem incubadas com os nanocompósitos (a 100  $\mu$ g mL<sup>-1</sup>) por 12 h irradiado por um laser de 808 nm com uma densidade de potência de 0,5 W cm<sup>-2</sup> por 15 min [27]. Foi verificada a possibilidade de obtenção de fitas cerâmicas homogêneas de paligorsquita e álcool polivinílico por meio da colagem de fitas. As suspensões apresentaram comportamento pseudoplástico adequado ao processo de fundição da fita, quando incorporadas a um agente antimicrobiano, as fitas cerâmicas mostraram-se eficientes em sua atividade antimicrobiana e promissoras para aplicações na cicatrização de feridas [12].

**Aplicações em meio ambiente:** Álcool polivinílico e NI (AP-NI) foi utilizado como carreador de microrganismos, formando um sistema tris-sinérgico para degradação de nitrobenzeno (NTB). O carreador não afunda no fundo do líquido e pode ser distribuído uniformemente na água devido à sua densidade de 0,647 g / m<sup>3</sup> ( $\approx$  1 g / m<sup>3</sup>). A taxa máxima de remoção de NTB por AP-NI atingiu 91% em 120 min [38]. Os nanobastões paligorsquita naturais (PAL) são transportadores favoráveis para a fabricação de novos tipos de material antibacteriano ZnO/PAL. O efeito sinérgico antibacteriano de nanocompósito orgânico-inorgânico (QACOS) e ZnO/PAL contribuem principalmente para a grande melhoria da atividade antibacteriana desses nanocompósitos [2]. No que tange a compostagem, a adição de paligorsquita estende a duração da fase termofílica, promove a desintoxicação do composto, acelera a degradação da matéria orgânica e melhora a conservação do nitrogênio durante a compostagem aeróbica de biossólido. Além disso, a adição de paligorsquita reduziu o CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, e emissões de O<sub>2</sub>; favoreceu a redução de Cu, Zn, Pb e Cd extraíveis por conteúdo de DTPA, aumento da degradação de estrogênio durante a compostagem de biossólidos, beneficia a maturidade do composto e melhora a qualidade do produto final [14]. Foi criado com sucesso um novo nano bifuncional PAN/paligorsquita (ATP) eletrofiados com membranas que eram capazes de capturar com eficiência materiais particulados (PMs) ultrafinos e íons de metais pesados perigosos, o que pode ser aplicado na proteção em tempo real da saúde e segurança humana [3].

## CONCLUSÕES

Este trabalho realizou uma revisão bibliográfica sobre as aplicações industriais da paligorsquita, considerando a sua estrutura e possíveis usos. Nas bases de dados pesquisadas, entre os anos de 2016 a 2021, foram encontrados 349 trabalhos, demonstrando uma variedade de aplicações e grande potencial para inovações. A sua utilização pelas indústrias implica na melhoria das atividades do agronegócio, beleza e cosméticos, construção civil, alimentos, produção de cloro-soda, aditivos/lubrificantes, corantes, eletrônicos, produtos farmacêuticos, atividade petrolífera, química, tratamentos médicos, odontologia, atividades da mineração e meio ambiente.

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI) campus Valença do Piauí pelo apoio e ao IFPI campus Teresina-Central e os professores do mestrado em Engenharia de Materiais pelos conhecimentos transmitidos e orientação para o sucesso dos trabalhos bem como a todos os colegas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização do presente artigo, em especial a Rodrigo Magalhães, Roseane dos Santos e Aline Alves.

## REFERÊNCIAS

- D. M. Nguyen, A. C. Grillet, T. Goldin, T. M. HanhDiep, M. Woloszyn. (2018) Bamboo fiberboards and attapulgite: does it lead to an improvement of humidity control in buildings? Earth and Environmental Science.

- El-Refaie Kenawy, Maurizia Seggiani, Patrizia Cinelli, Hasnaa Mohamed, Hasab Elnaby, Mohamed M. Azaam. (2020) Swelling capacity of sugar cane bagasse-g-poly (acrylamide)/attapulgit superabsorbent composite sites and their application as slow release fertilizer. *European Polymer Journal*.
- Freitas, A. K. C., Puton, B. M. S., Peres, A. P. S., Cansian, R. L., Pergher, S. B. C., e Acchar, W. (2019) Palygorskite sheets prepared via tape casting for wound healing applications". *Applied Ceramic Technology*.
- Guangyan Tian, Wenbo Wang, Dandan Wang, Qin Wang, Ai Qin Wang. (2017) Novel environment friendly inorganic red pigments based on attapulgite. *Powder Technology*.
- Junting Pan, Ronghua Li, Limei Zhai, Zengqiang Zhang, Junyi Ma, Hongbin Liu. (2019) Influence of palygorskite addition on biosolids composting process enhancement. *Journal of Cleaner Production*.
- Jie Yang, Xiaohui Gao, Jian Lia, Rui Zuoa, Jinsheng Wang, Liuting Song, Guoqiang Wang. (2020) The stabilization process in the remediation of vanadium-contaminated soil by attapulgite, zeolite and hydroxyapatite. *Ecological Engineering*.
- Jiao Jin uma, Yuchao Gao, Yinrui Wu, Shuai Liu, Ruohua Liu, Hui Wei, Guoping Qian, Jianlong Zheng. (2021) Rheological and adhesion properties of nano-organic palygorskite and linear SBS on the composite modified asphalt. *Powder Technology*.
- Junior, ED (2020). Aplicação da Palygorskita na Liberação pH-Responsiva de Fármacos Tuberculostáticos. *Dissertação de Mestrado, Natal/RN*.
- Lanlan Tian, Lian Xiong, Chao Huang, Mengkun Wang, Hairong Zhang, Xinde Chen. (2019) Gel hybrid co-polymer for ganic palygorskite and methyl methacrylate electrolyte coated onto Celgard 2325 applied in lithium ion batteries. *J. APPL. POLYM. SCI*.
- Lizhi He, Jun Meng, Yan Wang, Xianjin Tang, Xingmei Liu, Caixian Tang, Lena Q. Ma, Jianming Xu. (2021) Attapulgite and processed oyster shell powder effectively reduce cadmium accumulation in grains of rice growing in a contaminated acid paddy field. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 209, China.
- Aiping Huia, Rui Yana, Wenbo Wang, Qin Wang, Yanmin Zhou, Ai Qin Wang. (2020) Incorporation of quaternary ammonium chloride oligosaccharides on ZnO/palygorskite nanocomposites for enhancing antibacterial activities. *Carbohydrate Polymers*.
- Lopes, A. K. L. C., Carvalho, S. N., Sousa, J. P. S., e Meireles, L. M. A. (2020) Desenvolvimento e caracterização de máscaras peel-off à base de atapulgita. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 8.
- Luz, A. B., e Lins, F. A. F. (2005) Argila/Atapulgita e Sepiolita. In: A. B. da Luz, F. F. Lins (eds) *Rochas & Minerais Industriais, 1 ed.*, Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT.
- Ma, J., Zhu, C., Xu, Y., Lu, J., Huang, L., e Yang, Z. 2017. Photocatalytic degradation of gaseous benzene with H<sub>3</sub>PW<sub>12</sub>O<sub>40</sub>/TiO<sub>2</sub>/palygorskite composite catalyst". *J Saudi Chem Soc*.
- Mengsa Chai, Yihui Chen, Rongrong Xuan, Junfeng Ma, Tingting Wang, Dan Qiu, Lihua Zhang, Yukui Zhang. (2018). Preparation of attapulgite nanoparticle-based hybrid monolithic column with covalent bond for hydrophilic interaction liquid chromatography. *Talanta*.
- Meng Fu, Zepeng Zhang. (2018) Highly tunable liquid crystalline assemblies of super paramagnetic rod-like attapulgite@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanocomposite. *Materials Letters*.
- Mingxin Niu, Zuopeng Li, Wenjuan He, Wenfeng Zhou, Runhua Lu, Jing Li, Haixiang Gao, Sanbing Zhang, Canping Pan. (2020) Magnetic metallic-organic structures modified with attapulgite for extraction solid phase analysis and determination of benzoylurea insecticides in tea infusions. *Food Chemistry*.
- Muhammad Khalid Ra fi, Stephen D. Joseph, Fei Li, Yanfu Bai, Zhanhuan Shang, Aditya Rawal, James M. Hook, Paul R. Munroe, Scott Donne, Sara Tahery Moosavi, David RG Mitchell, Ben Pace, Mohamad Mohammed, Joseph Horvat, Christopher E. Marjo, Avital Wagner, Yanlong Wang, Jun Ye, Rui-Jun Long. (2017) Pyrolysis of attapulgite clay blended with yak dung enhances pasture growth and oil health: Characterization and initial field trials". *Science of the Total Environment* 607–608.
- Ping Wu, Dan Deng, Jingwen Gao, Chenxin Cai. (2016) Tubelike Gold Sphere-Attapulgite Nanocomposites with a High Photothermal Conversion Ability in the Near-Infrared Region for Enhanced Cancer Photo-thermal Therapy. *ACS Appl. Mater. Interfaces*.
- Qi Wang, Xindong Liu, Tao Ju, Zongrong Ying, Jie Xie, Yongzheng Zhang. (2019) Preparation and electro-chemical properties of NiCo<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanobars grown in nickel foam was filled with carbon-coated attapulgite supercapacitors. *Mater. Res. Express*.
- Ruisi Xing, Fusheng Pan, Jing Zhao, Keteng Cao, Chengyun Gao, Sen Yang, Guanhua Liu, Hong Wu, Zhongyi Jiang. (2016) Enhancing the permeation selectivity of sodium alginate membrane by incorporating attapulgite nanorods for ethanol dehydration". *RSC Adv*.
- Bin Wang, Zhiming Sun, Qing Sun, Jie Wang, Zongxi Du, Congju Li, Xiuyan Li. (2019) The preparation of bifunctional electrospun air filtration membranes by introducing attapulgite for the efficient capturing of ultra-fine PMs and hazardous heavy metal ions. *Environmental Pollution*.
- R. A. Nunes; C. F. Moura Junior; R. T. C. Silva; R. C. Dantas; C. T. C. Cunha; T. J. A. Melo; E. O. Vilar; H. L. Lira. (2019) O uso de argilas atapulgitas como dopante no desenvolvimento de diafragmas poliméricos para aplicação na produção eletrolítica de cloro – soda". *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v. 14, n. 2.
- Ribeiro, LP (1996) Atapulgita em solos da região de Sento Sé, Bahia-Brasil.
- Sana Ghrab, Mabrouk Eloussaief, Stéphanie Lambert, Samir Bouaziz, Mourad Benzina. (2018). Adsorption of terpenic compounds onto organo-palygorskite. *Environ Sci Pollut Res*.
- Saraiva, LCF (2019) Desenvolvimento de um clareador dental à base de carvão ativado de babaçu e argila atapulgita. *Universidade Federal do Piauí*.
- Souza Santos, P., e Souza Santos, H. (1984) Ocorrências brasileiras de argilas contendo argilo-minerais do grupo das hormitas (palygorskita-atapulgita-sepiolita). *Cerâmica*, São Paulo.
- Tingting Wang, Yihui Chen, Junfeng Ma, Zhenfeng Jin, Mengsa Chai, Xunwen Xiao, Lihua Zhang, Yu-kui Zhang. (2018) A polyethyleneimine modified attapulgite as a new solid matrix support for solid phase extraction of traces of cadmium in sea products. *Talanta*.
- Xiaowen Wang, Bin Mu, Aiping Hui, Qin Wang, Ai Qin Wang. (2018) Low-cost bismuth yellow hybrid pigments derived from attapulgite. *Dyes and Pigments*.
- Xuehui Liu, Yuchuan Cheng, Wei Wang, Fenghua, Baorong Hou. (2018) Application of 1D attapulgite as reservoir with benzotriazole for corrosion protection of carbon steel. *Materials Chemistry and Physics*.
- Xijun Ma, Yingying Zhang, Jiuyang Zhou, Yuanyuan Xue, Linjie Shang, Xingyong Xie, Zhengyan Wu, Jing Zhang. 2018. Degradation of nitrobenzene by trisyrnergetic attapulgite supported nano scale zero-valent iron-biofilm. *Research on Chemical Intermediates*.
- Xiaoxing Zhong, Botao Qin, Guolan Dou, Chen Xia, Feng Wang. 2018. A chelated calcium-procyanidine-attapulgite composite inhibitor for the suppression of coal oxidation. *Fuel*.
- Bo Yuan, Xiao-Qian Yin, Xiao-Qin Liu, Xing-Yang Li, Lin-Bing Sun. 2016. Enhanced Hydrothermal Stability and Catalytic Performance of HKUST-1 by Incorporating Carboxyl-Functionalized Attapulgite. *ACS Appl. Mater. Interfaces*.
- Ya Li, Yunxia Jiang. (2018) Preparation of a palygorskite supported KF/CaO catalyst and its application for biodiesel production via transesterification. *RSC Adv*.
- Yufei Han, Qianqian Ye, Yantao Xu, Qiang Gao, Wei Zhang, Jianzhang Li, Sheldon Q. Shi. (2020) Marine sponge spicules-inspired magnesium oxychloride cement with both enhanced water resistance and compressive strength via incorporating activated palygorskite. *Applied Clay Science*.

- Zaihua Duana, QiuniZhaoa, Si Wanga, ZhenYuana, YajieZhanga, Xian Lib, YingweiWua, YadongJianga, Huiling Tai. (2020) Novel application of attapulgite on high performance and low-cost humidity sensors". *Sensors & Actuators: B. Chemical* 305.
- Cambrussi, A. N. C. O., Oliveira, J. A., Sá, M. L., Neto, L. R. S., Eiras C., Osajima, J. A., e Ribeiro, A. B. (2019) Synthesis of catalyst composed of palygorskite-TiO<sub>2</sub> and silver nanoparticles for the development of assays antioxidant based on the generation of reactive oxygen species. *Journal of Food Science and Technology*.
- Chen, D., Du, Y., Zhu, H., e Deng, Y. (2014) Synthesis and characterization of a micro fibrous TiO<sub>2</sub>-CdS/palygorskite nano structured material with enhanced visible light photocatalytic activity. *Appl Clay Sci*.
- Chenxiang Wang, Chunfu Li, Xuefen Zhang. (2020) Tribological behaviors and self-healing performance of surface modification nanoscale palygorskite as lubricant additive for the steel pair. *Mater. Res. Express*.
- Chuanfei Liang, Zhiran Gao, Huqiang Lian, Xianglin Li, Shu Zhang, Qing Liu, Dehua Dong, Xun Hu. (2020) Impact of metal loading in Ni/attapulgite on distribution of the alkalinity sites and reaction intermediates in CO<sub>2</sub> methanation reaction. *International Journal of Hydrogen Energy*.
- Dhanya Balan AP. (2018) Investigations on the Development of Solid Acid Catalyst from Natural Palygorskite Collected from Different Parts of India. Departamento de Química, Government College, Kasa-ragod.
- Amorim, K. B., e Angélica, R. S. (2011) Mineralogia e geoquímica da ocorrência de palygorskite de Al-cântara, bacia de S. Luís-Grajaú, Maranhão. Instituto de Geociências, Laboratório de Caracterização Mineral, Universidade Federal do Pará, Belém/PA.

\*\*\*\*\*