



EFEITO DAS ATIVAÇÕES ÁCIDA E TÉRMICA NAS PROPRIEDADES ADSORTIVAS DA ARGILA PALIGORSQUITA PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS CONTAMINADAS COM CORANTES IÔNICOS

Tamires do Nascimento Ataíde¹, Gelmires de Araújo Neves²

RESUMO

A contaminação dos recursos hídricos é uma das consequências do crescimento industrial das últimas décadas. Entre as principais indústrias poluidoras estão as têxteis que liberam no meio ambiente efluentes com altas concentrações de corantes, poluindo rios e solos. Neste contexto, há a necessidade de desenvolver metodologias de tratamento eficazes, uma delas é a técnica de adsorção através da aplicação de argilominerais. Por isso, objetivando fornecer uma solução a esta problemática, foram realizados ensaios experimentais de adsorção do corante iônico Cristal Violeta (CV) para estudo do efeito das ativações ácida e térmica nas propriedades adsorptivas da argila paligorsquita de Guadalupe, estado do Piauí. Os resultados obtidos foram satisfatórios, demonstrando que ambas ativações são capazes de melhorar o desempenho da paligorsquita no tratamento de efluentes contaminados com o corante, tornando esta argila um recurso eficiente, de fácil aplicação e de baixo custo.

PALAVRAS-CHAVES: *paligorsquita, adsorção, indústria têxtil.*

¹ Aluna do curso de Engenharia de Minas, Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: tamiresnataide@gmail.com.

² Professor Doutor, Unidade Acadêmica de Materiais, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: gelmiresneves@gmail.com.

EFFECT OF ACID AND THERMAL ACTIVATIONS ON ADSORPTIVE PROPERTIES OF PALIGORSCHITE CLAY FOR TREATMENT OF WATER CONTAMINATED WITH IONIC DYES

ABSTRACT

Contamination of water resources is one of the consequences of industrial growth in recent decades. Among the main polluting industries are textiles that release effluents with high concentrations of dyes into the environment, polluting rivers and soils. In this context, there is a need to develop effective treatment methodologies, one of which is the adsorption technique through the application of clay minerals. Therefore, aiming to provide a solution to this problem, experimental tests of adsorption of the ionic dye Crystal Violet (CV) were carried out to study the effect of acid and thermal activation on the adsorptive properties of palygorskite clay from Guadalupe, state of Piauí. The results obtained were satisfactory, demonstrating that both activations are able to improve the performance of palygorskite in the treatment of effluents contaminated with the dye, making this clay an efficient resource, easy to apply and low cost.

KEYWORDS: *palygorskite, adsorption, textile industry.*

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da demanda por produtos têxteis tem ocasionado o aumento proporcional do número de suas indústrias e de águas residuais, transformando-se em um grave problema de poluição ambiental. A indústria têxtil pode operar a partir de dois processamentos diferentes, o seco, o qual gera resíduo sólido, e o úmido, caracterizado pelo alto consumo de água. Este uso de água doce ocorre, sobretudo, na etapa de tingimento, na qual 10% dos corantes utilizados são perdidos por meio da lavagem dos tecidos, sendo descartados no meio ambiente através dos efluentes têxteis (MANI, CHOWDHARY e BHARAGAVA, 2019).

Os corantes são substâncias químicas capazes de transferir cor para outros materiais. Apesar de possuírem variadas aplicações, como, coloração de tintas, plásticos, fotografias, cerâmicas, entre outros, três quartos dos corantes são empregados na indústria têxtil. Eles podem ser classificados de diversas formas, sendo a principal delas referente à sua fonte, natural ou sintética. Os corantes sintéticos são produzidos de forma fácil, rápida e com variedade de cores, o que os torna amplamente utilizados (PAVITHRA *et al*, 2019).

Esses corantes além de modificar a aparência das águas devido às cores de alta intensidade, também são tóxicos e contaminam o solo e as águas superficiais, configurando-se um risco ao ecossistema e a vida humana. Desse modo, o tratamento dos efluentes têxteis é essencial para proteger o ambiente e permitir a reutilização do efluente nos processos de fabricação da própria indústria têxtil ou uso para outras finalidades (YASEEN e SCHOLZ, 2018).

A remoção desses contaminantes de efluentes pode ocorrer através de diversos métodos, alguns deles são precipitação, evaporação, extração de solvente, eletroquímica, filtração por membrana e adsorção, destacando-se este último devido sua técnica simples, eficaz e economicamente viável. A adsorção é o processo de separação no qual substâncias de um líquido ou gás ligam-se a um material sólido, isto é, a aderência física e incorporação de uma substância de um estado para outro. É um fenômeno de superfície que envolve três componentes, o adsorvente, o adsorbato e a água, respectivamente, o sólido, o contaminante e o efluente (CRINI *et al*, 2019).

No tratamento de águas por adsorção de corantes há o amplo emprego de carvão ativado como adsorvente em virtude de sua eficácia e versatilidade, no

entanto, seu custo operacional é elevado, o que tem impulsionado a busca por novos adsorventes alternativos. Dentre esses novos adsorventes estão as argilas naturais, a exemplo bentonitas, caulins e sepiolitas. As argilas apresentam-se promissoras na remoção de contaminantes, sobretudo, devido sua grande área superficial, estabilidade química e mecânica, capacidade de adsorção e de troca catiônica, propriedades de superfície e ocorrência em abundância (AZHA *et al*, 2019; UDDIN *et al*, 2017; YANG *et al*, 2018).

A paligorsquita é um argilomineral do tipo filossilicato com morfologia fibrosa, composto por folhas tetraédricas contínuas de SiO₂ e folhas octaédricas descontínuas de Mg ou Al. Entre suas características estão a alta estabilidade química, grande área de superfície e estrutura porosa e, entre suas aplicações industriais está o uso como adsorventes de contaminantes. Como os demais argilominerais, suas propriedades físicas e químicas podem ser melhoradas a partir de modificações como, ativações ácida e térmica (SOUSA *et al*, 2019; ZHUANG *et al*, 2017).

A ativação ácida tem sido muito utilizada com o objetivo de aumentar a área superficial e porosidade das argilas, de modo a influenciar benéficamente às suas propriedades relevantes para aplicação em processos de adsorção de corantes e metais. O tratamento ácido da argila paligorsquita é comumente realizado com o uso de ácido clorídrico ou sulfúrico, e é capaz de aumentar os sítios ativos de adsorção por desagregação dos feixes de cristal, além de eliminar as principais impurezas, como minerais carbonáticos, e aumentar a área de superfície (MU e WANG, 2016).

A ativação térmica é o procedimento no qual a argila é submetida a aquecimento a determinadas temperaturas para desidratar ou desidroxilizar, acarretando em modificações nas suas propriedades texturais, visto que a quantidade de água presente está diretamente ligada a porosidade da argila (ORTEGA, CASTILLO e CABRERA, 2020).

Nesse contexto, essa pesquisa teve como objetivo estudar o efeito da ativação ácida e térmica nas propriedades adsorptivas da argila paligorsquita proveniente de Guadalupe/PI para possível aplicação na adsorção de corantes, a fim de fornecer uma matéria-prima de qualidade e baixo custo para o tratamento de efluentes da indústria têxtil.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS

Este estudo foi realizado utilizando os seguintes materiais:

- Argila paligorsquita proveniente do município de Guadalupe/PI, fornecida pela União Brasileira de Mineração S.A. - UBM;
- Ácido clorídrico (HCL) com massa molar de 36,46 g/mol, fabricado pela VETEC;
- Corante iônico (catiônico) Violeta Cristal (CV) da marca Synth com massa molar de 408 g/mol.

2.2. METODOLOGIA

A seguir, fluxograma simplificado dos métodos utilizados e pré-determinados para a realização do projeto.

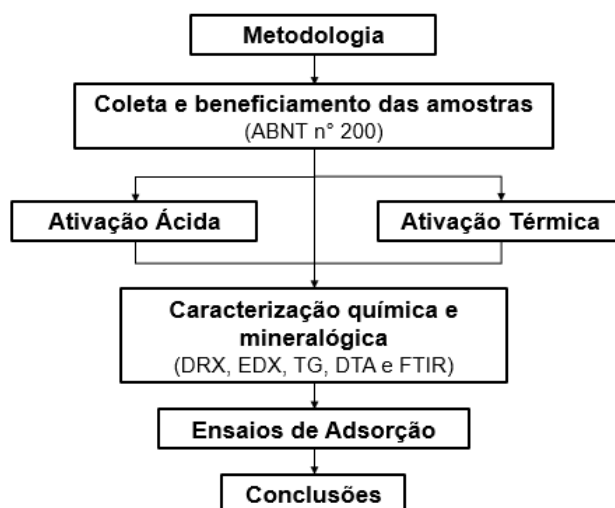


Figura 1. Fluxograma da metodologia empregada na pesquisa.

(a) Coleta e Beneficiamento das amostras

Após a coleta, as amostras foram submetidas à moagem para adquirir uma granulometria fina e, posteriormente, peneiradas em malha ASTM ABNT 200 para utilização nos procedimentos seguintes.

(b) Ativação Ácida

Para a ativação ácida da paligorsquita foi utilizada a metodologia proposta por RUSMIN *et al.* (2016), que consistiu na adição de 50 g de argila em 500 ml de solução de ácido clorídrico na concentração de 2 mol/L, sob condições de refluxo durante 2 horas a 70 °C. Posteriormente, a mistura foi filtrada em um sistema à vácuo, e lavada

com água destilada diversas vezes até que a solução filtrada atingisse pH próximo à 7. O material obtido foi seco por 12 horas a uma temperatura de 60 °C, logo após, submetido a moagem e peneiramento em malha ASTM ABNT 200.

(c) Ativação Térmica

A ativação térmica ocorreu a partir da queima da argila paligorsquita à temperatura de 500° C em forno tipo mufla por 4 horas com taxa de aquecimento de 5° C/min (CHEN *et al*, 2011).

(d) Caracterização química e mineralógica

Para fins de praticidade nos ensaios de caracterização e adsorção, as argilas paligorsquitas natural e ativadas foram identificadas da seguinte forma:

Tabela 1. Identificação das mostras de argila paligorsquita.

Amostra	Identificação
Paligorsquita Natural	Pal
Paligorsquita Ácida	APal
Paligorsquita Térmica	TPal

Para os ensaios de caracterização, foram utilizadas as técnicas de Difração de Raios-X (DRX), Espectroscopia de Raios-X (EDX), Termogravimetria (TG), Análise Térmica Diferencial (DTA) e Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).

As caracterizações em DRX foram realizadas em equipamento XRD 6000 da Shimadzu, com radiação K α do Cu (40kV/30mA), velocidade do goniômetro de 2°/min e passo de 0,02°, com faixa de 0° a 50°. E as análises químicas por EDX no equipamento 720 da Shimadzu.

As análises termogravimétricas foram obtidas através do equipamento de Análises Térmicas Shimadzu TA 60 h, utilizando razão de aquecimento de 12,5 °C/min. E as análises de DTA através do sistema de Análises Térmicas modelo RB-3000 da BP Engenharia Indústria e Comércio, com razão de aquecimento de 12,5° C/min, temperatura máxima de 1000° C e utilizando o óxido de alumínio (Al₂O₃) calcinado como padrão.

A espectroscopia no infravermelho foi realizada em espectrômetro modelo Vertex-70 da marca Bruker, utilizando pellet de KBr com 0,6 % de amostra. Os

registros de espectro foram obtidos em faixa espectral de 4000 a 400 cm^{-1} , com 32 varreduras e resolução de 4 cm^{-1} .

(e) Ensaio de Adsorção

Os ensaios de adsorção foram realizados em bateladas. Primeiramente, foram preparadas as soluções estoque de ambos os corantes, utilizando balões volumétricos e a proporção de 1 g de corante em pó para 1 L de água destilada, de modo a obter a concentração de 1000 mg/L. Em continuidade, foi realizada a diluição da solução estoque para atingir as soluções de concentrações desejadas, as quais foram armazenadas na quantidade de 20 mL em frascos de vidro de 30 mL. Posteriormente, a argila foi adicionada aos frascos, os quais foram submetidos à agitação de 150 rpm à temperatura de 25 °C, em incubadora shaker refrigerada com movimento orbital, modelo NT 735 da marca Novatecnica. Após a etapa de agitação, as amostras seguiram para centrífuga modelo 206 da FANEM® Baby Centrifuge por 5 minutos à velocidade de 3.600 rpm. Os fluantes, então, foram analisados em espectrofotômetro de UV-Vis, modelo UV-1800 da marca Shimadzu.

Para obtenção dos resultados acerca da quantidade de corante removida pelo adsorvente e a porcentagem adsorvida, foram utilizadas as equações I e II, respectivamente:

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{m} \quad (I)$$

E,

$$\%adsorvida = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100 \quad (II)$$

Onde:

q_e : quantidade de adsorbato adsorvido no equilíbrio (mg/g);

C_o : concentração inicial da solução (mg/L);

C_e : concentração da solução quando atingido o equilíbrio (mg/L);

V : volume da solução (L);

m : massa do adsorvente (g).

3. RESULTADOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO

A Figura 2 ilustra os padrões de DRX das argilas paligorsquitas natural e ativadas.

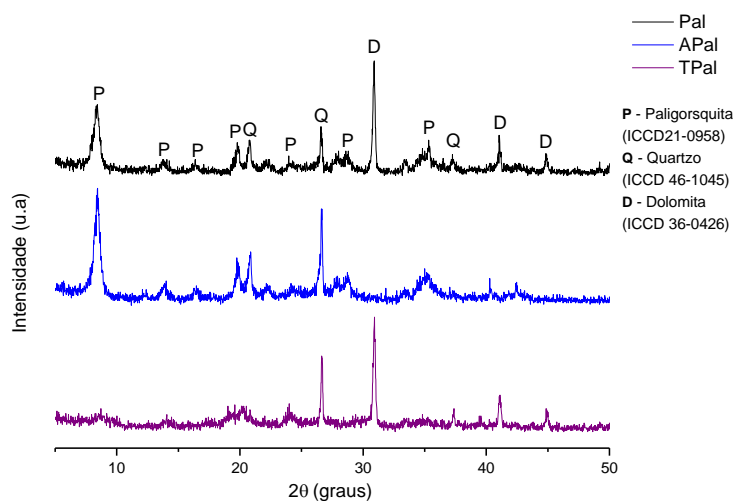


Figura 2. DRX das argilas paligorsquitas natural e ativadas.

A partir da interpretação dos picos existentes no difratograma da argila natural foi possível identificar sua composição mineralógica, onde há a presença de paligorskita (ICCD 21-0958) nas distâncias interplanares de 10,39; 6,39; 5,41; 4,48; 3,71; 3,11 e 2,55 Å, quartzo (ICCD 46-1045) em 4,26; 3,35 e 2,41 Å e dolomita (ICCD 36-0426) em 2,89; 2,19 e 2,02 Å. Comparando os resultados obtidos com as argilas paligorsquitas chinesas (ZHANG *et al*, 2015), verifica-se que a argila estudada apresentou uma variedade mínima de minerais acessórios.

A amostra ativada com ácido apresenta picos de paligorskita e preserva as intensidades de suas reflexões, indicando que o ácido não alterou de forma significativa a estrutura da argila. No entanto, os picos de dolomita identificados na amostra natural, não se manifestam aqui, comprovando que a ativação ácida foi eficaz na eliminação do carbonato. Resultados semelhantes foram obtidos por Boudriche *et al* (2011) em seu estudo.

Para a argila ativada termicamente a 500°C, foi constatado o desaparecimento dos picos de paligorskita, apontando que a sua estrutura cristalina foi destruída em decorrência da perda total de água coordenada e desidroxilação. Os picos de quartzo não sofreram alterações, indicando que sua estrutura cristalina não foi influenciada pela temperatura. Este resultado pode ser comparado ao trabalho de Gan *et al* (2009) que analisou o comportamento da paligorskita sob ativação térmica a diversas temperaturas.

Na Tabela 2 são expostos os resultados de composição química da argila paligorskita in natura e modificada.

Tabela 2. Composições químicas das argilas paligorsquitas natural e ativadas.

Amostra	SiO₂ (%)	MgO (%)	Al₂O₃ (%)	CaO (%)	Fe₂O₃ (%)	K₂O (%)	Outros Óxidos (%)
Pal	53,22	14,25	12,96	11,82	5,29	0,93	1,53
APal	69,33	8,34	14,91	---	5,20	0,98	1,24
TPal	52,72	14,43	12,89	12,11	5,33	0,94	1,58

Fonte: Autoral.

A argila natural apresentou altos percentuais de SiO₂, Al₂O₃ e MgO, característicos do argilomineral paligorsquita (YANG *et al*, 2018). O teor de CaO de 11,82% é proveniente da dolomita e o teor de 5,29% de Fe₂O₃, provavelmente, da Hematita. Comparando esses resultados com os estudos de Zhang *et al* (2015) verificou-se que os resultados são similares em percentuais de silício e alumínio. Em relação aos teores de magnésio e cálcio, a argila em estudo apresentou percentual mais elevado, isto pode ser justificado pela presença intensa da dolomita como mineral acessório.

Em comparação com a argila natural, a amostra ativada com ácido apresentou elevação dos teores de SiO₂ e Al₂O₃, além da queda e desaparecimento, respectivamente, dos teores de magnésio e cálcio, resultante da eliminação da dolomita. Este comportamento também foi observado no trabalho de Boudriche *et al* (2011). Quanto a amostra TPal, a composição química não apresentou significativas alterações.

As análises termogravimétrica e térmica diferencial forneceram os resultados expressos nos gráficos da Figura 3.

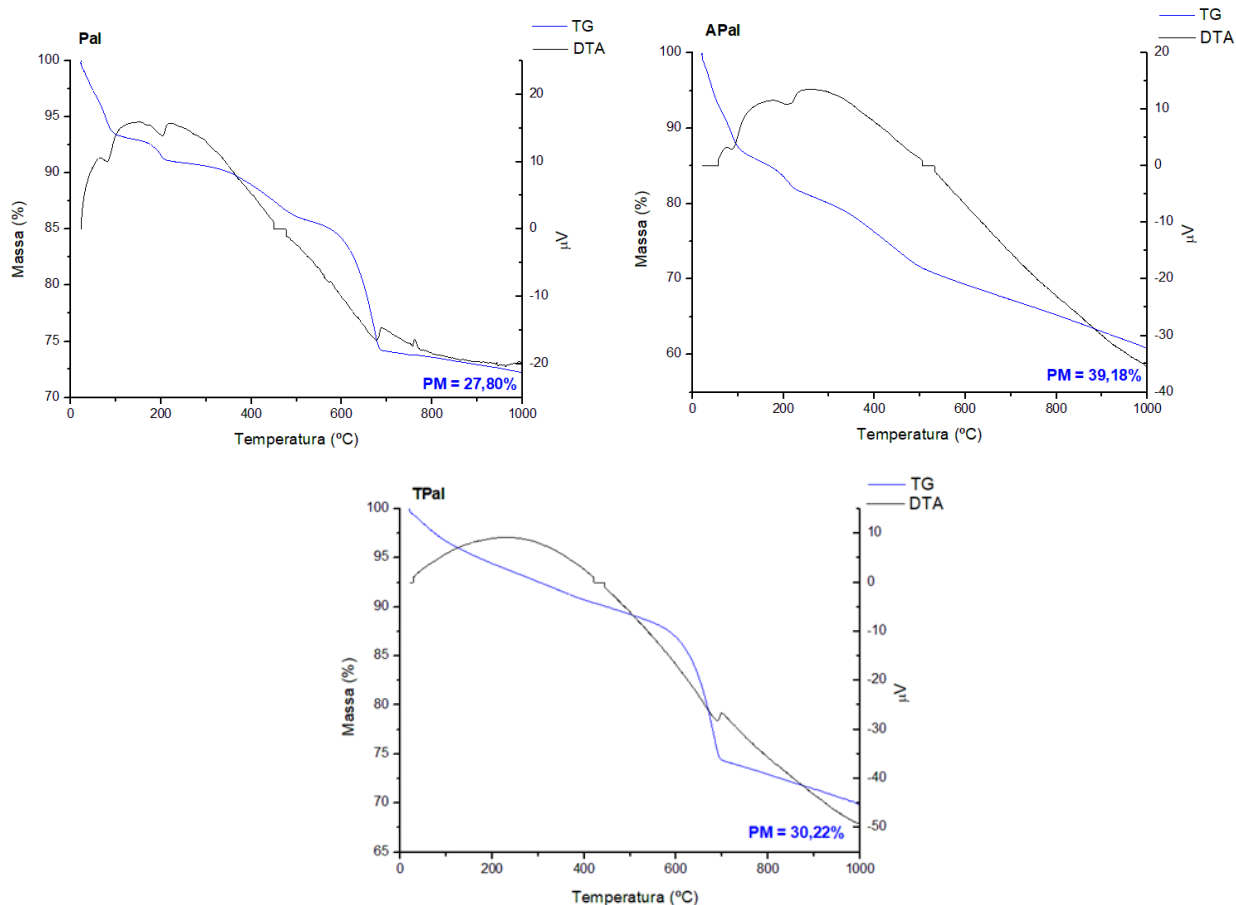


Figura 3. TG e DTA das argilas paligorsquitas natural e ativadas.

No gráfico da paligorsquita natural observa-se quatro importantes eventos de perda de massa na TG. No primeiro evento nas temperaturas entre 23 e 125° C, ocorreu uma perda de massa correspondente à água adsorvida; no segundo evento entre as temperaturas de 125 a 230°C, ocorreu perda de massa correspondente à água zeolítica. No terceiro evento entre as temperaturas 230 e 530 °C, ocorreu perda de massa referente a água coordenada. E, por fim, no quarto evento entre 530 e 720°C, ocorreu perda de massa decorrente da decomposição da dolomita. Deste modo, foi totalizada uma perda de massa de 27,80% até o limite de 1000°C, correspondendo às perdas de matéria orgânica, água, carbonatos e hidroxilas presentes na argila.

A amostra APal apresentou picos endotérmicos semelhantes aos da argila natural, no entanto, não foi observado o pico associado a decomposição da dolomita, confirmando a informação obtida no DRX da eliminação deste mineral acessório. A amostra ativada termicamente não apresentou os picos endotérmicos referentes às perdas de água adsorvida, zeolítica e coordenada, visto que estas foram eliminadas

no processo de ativação, porém o evento de perda de massa da decomposição da dolomita é conservado, corroborando os resultados de DRX e EDX.

A Figura 4 ilustra os espectros em infravermelho das amostras natural e modificadas.

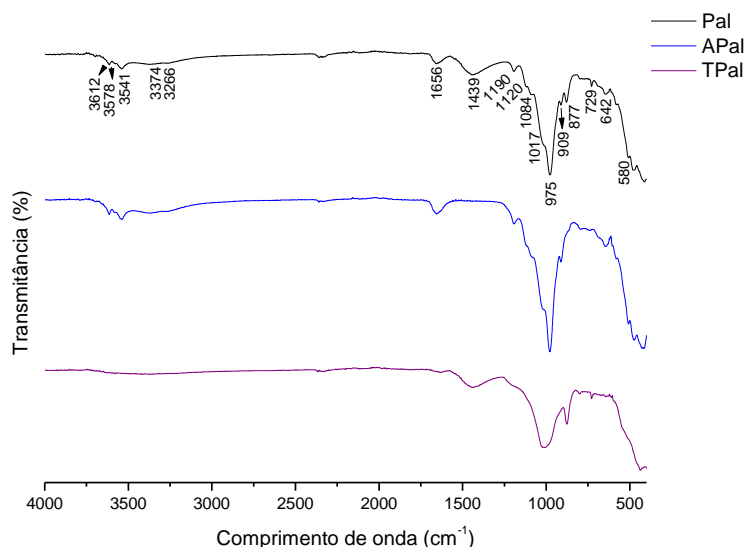


Figura 4. FTIR das argilas paligorsquitas natural e ativadas.

No espectro em infravermelho da paligorsquita natural observa-se bandas em 3612 e 3578 cm⁻¹, características da paligorsquita, atribuídas, respectivamente, às vibrações de alongamento Al-OH-Al e Al-Fe⁺³-OH ou Al-Mg-OH. As bandas em 3541, 3374, 3268 e 1656 cm⁻¹ correlacionadas com às águas zeolítica e coordenada presente na estrutura cristalina do argilomineral. Em 1439 e 729 cm⁻¹ bandas características do mineral calcita, reafirmando a presença de carbonatos na argila. As bandas existentes entre 1190 e 975 cm⁻¹ são relativas ao alongamento de Si-O. Em 1190 e 642 cm⁻¹ ocorrem duas bandas relacionadas aos alongamentos assimétrico e simétrico de Si-O-Si, as quais são consideradas impressões digitais da paligorsquita. As bandas em 909, 877 e 580 cm⁻¹ estão relacionadas à deformação Al-OH-Al, à vibração de flexão de Al-Fe-OH e à deformação Si-O, nesta ordem (FROST et al, 2001; TIAN et al, 2015; TIAN et al, 2016; YOUCEF, BELAROUJ e GALINDO, 2019; ZHANG et al, 2015).

Desse modo, a caracterização em FTIR está de acordo com os resultados de composição química e mineralógica obtidos nos ensaios de DRX, EDX e análises térmicas. Ademais, o espectro da amostra natural se mostrou bastante similar ao apresentado pela paligorsquita trabalhada por Youcef, Belaroui e Galindo (2019).

Analisando o espectro da paligorsquita ácida, verifica-se que ocorreu o desaparecimento das bandas em 1439 e 729 cm^{-1} atribuídas à calcita, ratificando a eliminação das impurezas carbonáticas por meio da ativação com ácido (RUSMIN *et al.*, 2016). Para a amostra ativada termicamente observa-se que as bandas em 3612 e 3578 cm^{-1} desapareceram devido a desidroxilação completa à temperatura de 500 $^{\circ}\text{C}$, bem como, as bandas referentes às águas zeolítica e coordenada. Além disso, a diminuição da intensidade das bandas entre 1190 e 975 cm^{-1} e a ausência das bandas de 1190 e 642 cm^{-1} (impressões digitais da paligorsquita) indicam a destruição da estrutura cristalina do argilomineral, reafirmando as conclusões obtidas por meio da difração de raio-X da mesma amostra (CÂMARA *et al.*, 2020).

3.2. ADSORÇÃO

3.2.1. EFEITO DO TEMPO DE CONTATO

A Figura 5 apresenta os resultados obtidos de adsorção do corante cristal violeta nas paligorsquitas natural e ativadas em função do tempo de contato.

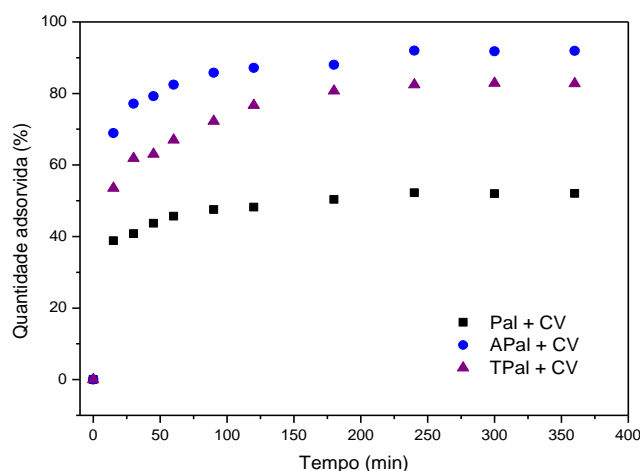


Figura 5. Efeito do tempo de contato na adsorção do corante em paligorsquita natural e ativadas.

Nos primeiros 30 minutos de ensaio a adsorção foi rápida, correspondendo à 40% da adsorção do corante. Este resultado deve-se aos numerosos sítios ativos disponíveis na superfície do adsorvente nos estágios iniciais e à forte interação eletroestática entre a superfície da paligorsquita carregada negativamente e o cristal violeta que possui caráter catiônico (AL-FUTAISI *et al.*, 2007; TANG *et al.*, 2019). Com o passar do tempo, a adsorção se tornou gradualmente mais lenta até o equilíbrio ser

atingido em 240 minutos, de forma que a capacidade de adsorção e o valor de remoção do corante da Pal foi 26,02 mg/g e 52 %, respectivamente. Enquanto as amostras APal e TPal removeram cerca de 92 % (45,95 mg/g) e 82 % (41,38 mg/g), respectivamente.

A Figura 6 apresenta os parâmetros cinéticos dos modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem. Os dados obtidos de todas as amostras foram melhor ajustados ao modelo de pseudo-segunda ordem, indicando que a adsorção do corante nas amostras pode ser determinada, principalmente, pela quimissorção, envolvendo o compartilhamento ou transferência de elétrons (KHAN et al., 2014; ZHU et al., 2016).

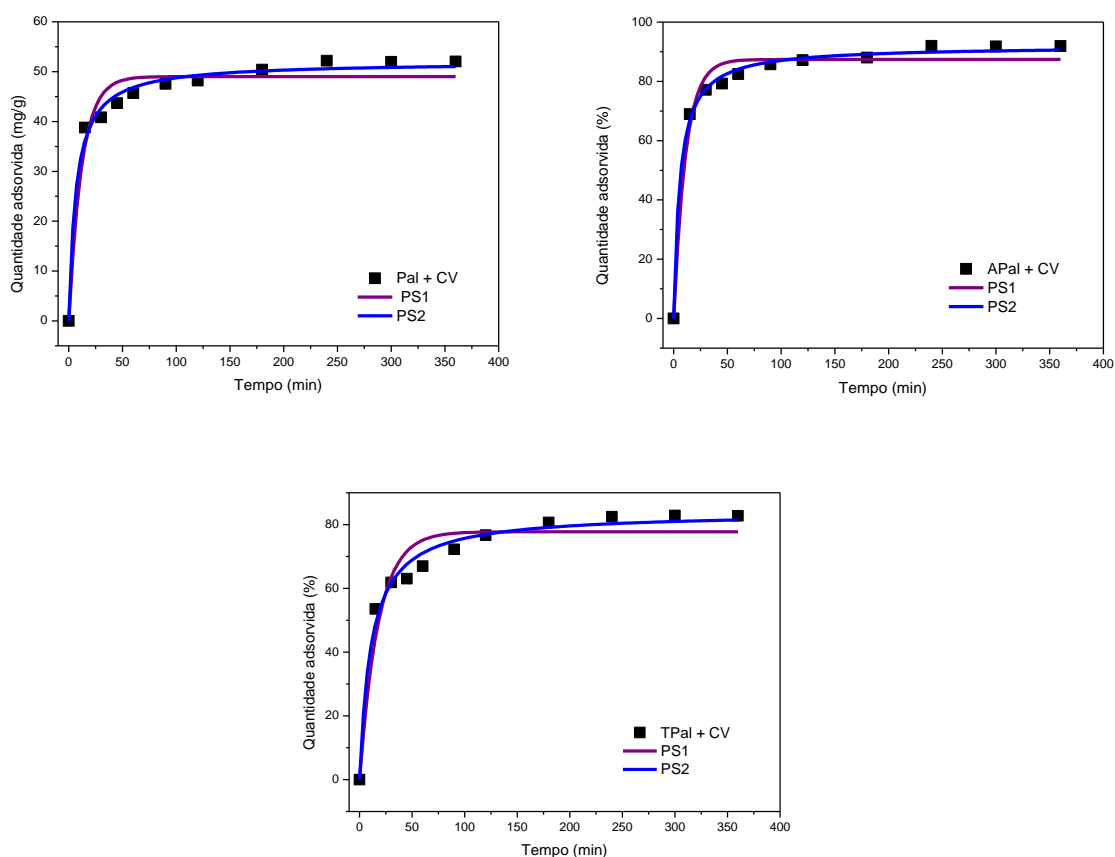


Figura 6. Parâmetros cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem para adsorção do corante.

3.2.2. EFEITO DA CONCENTRAÇÃO INICIAL DE CORANTE

Os dados referentes ao efeito da concentração inicial do corante cristal violeta nas argilas paligorsquitas natural e ativadas são apresentados na Figura 7.

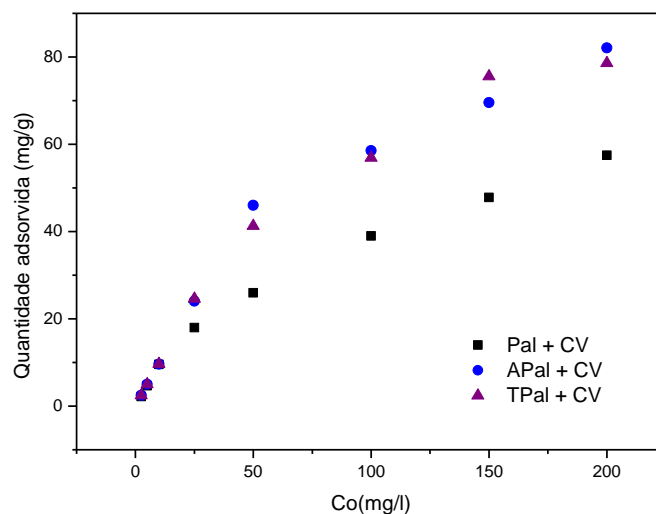


Figura 7. Efeito da concentração inicial na adsorção do corante em paligorsquita natural e ativadas.

A capacidade de adsorção das amostras cresce com o aumento da concentração inicial do corante, comportamento explicado pelo aumento da probabilidade de colisão entre às moléculas de corante e as partículas de paligorsquita (AL-FUTAISI *et al.*, 2007). A capacidade máxima de adsorção do cristal violeta seguiu a ordem decrescente APal (82,1 mg/g), TPal (80,1 mg/g) e Pal (57,5 mg/g), mostrando que o processo de adsorção foi melhorado com as ativações ácida e térmica.

Para melhor descrever a interação entre o adsorbato e o adsorvente, os dados experimentais foram ajustados aos modelos isotérmicos de Langmuir e Freundlich, conforme Figura 8.

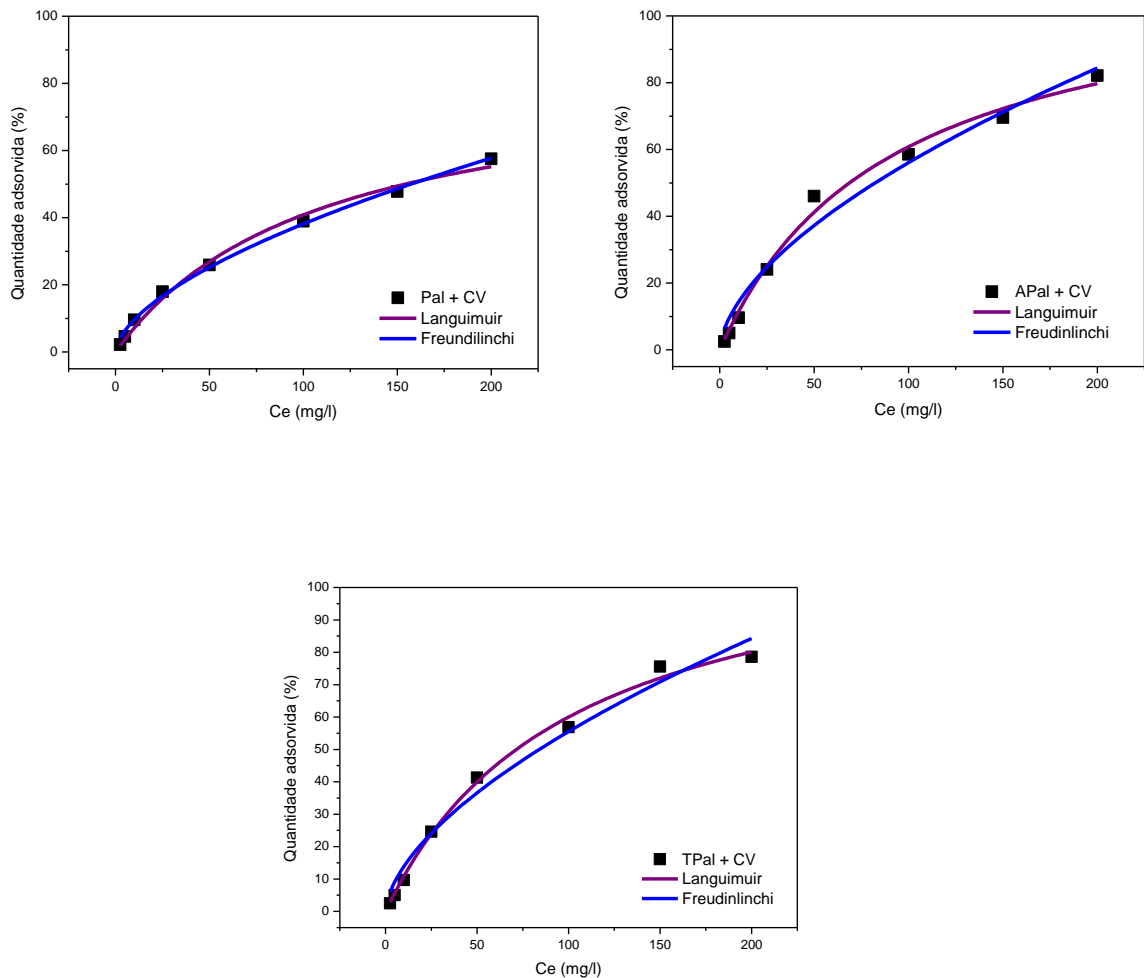


Figura 8. Modelos isotérmicos de Langmuir e Freundlich para adsorção do corante

Observa-se que o modelo de Langmuir foi o que melhor descreveu a adsorção do cristal violeta nas amostras, sugerindo que a adsorção nas palmeiras naturais e ativadas ocorre, sobretudo, por quimissorção (TANG *et al.*, 2011; SAHU e SINGH, 2019; CÂMARA *et al.*, 2020).

3.2.3. EFEITO DA VARIAÇÃO DE MASSA DA ARGILA

Os resultados dos ensaios sobre o efeito da variação de massa da argila são apresentados na Figura 9.

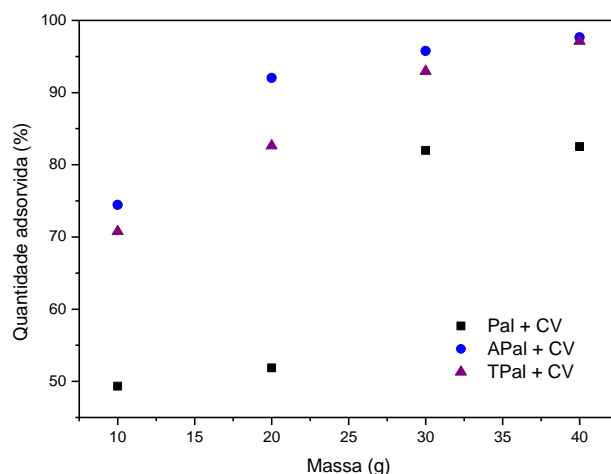


Figura 9. Efeito da variação de massa da argila na adsorção do corante em paligorsquita natural e ativadas.

Observa-se que a quantidade adsorvida aumenta consideravelmente quando a massa do adsorvente aumenta de 10 para 40 mg, isso pode ser atribuído ao aumento dos locais de adsorção disponíveis para a remoção do corante (WONG *et al.*, 2020).

3.2.4. EFEITO DA VARIAÇÃO DE pH

Os resultados dos ensaios sobre o efeito da variação pH são apresentados na Figura 10.

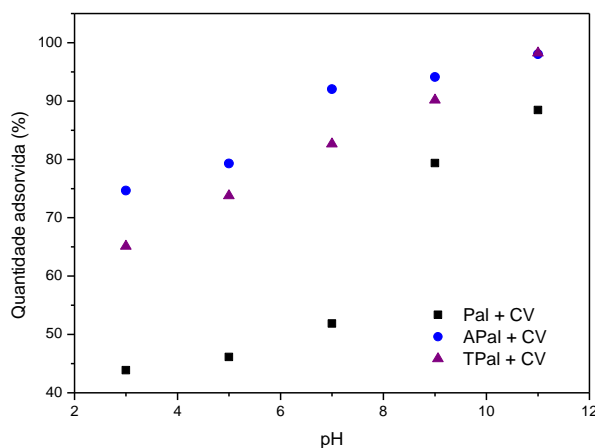


Figura 10. Efeito da variação de pH na adsorção do corante em paligorsquita natural e ativadas

Conforme os dados experimentais, à medida que o pH aumenta, a quantidade adsorvida do corante também aumenta. Isso pode ser explicado pois em meios

ácidos, os íons H^+ presentes na solução, podem protonar na superfície da paligorsquita e os grupos funcionais ($-Si-OH$) na sua superfície passam a existir na forma $-Si-OH^{2+}$. Dessa forma, a competição entre os íons H^+ e o corante catiônico pelos sítios de adsorção e a força repulsiva entre a superfície adsorvente carregada positivamente e as moléculas de corante são considerados os fatores responsáveis por uma taxa de adsorção mais baixa (WANG *et al.*, 2015). Em contrapartida, a presença de íons OH^- em pH básico promovem a desprotonação da superfície e geram grupos $-Si-O^-$, facilitando a adsorção das moléculas do corante carregadas positivamente no adsorvente carregado negativamente (SOUSA *et al.*, 2019).

4. CONCLUSÕES

Por meio dos ensaios de caracterização foi possível constatar que a ativação ácida foi eficaz na remoção das impurezas carbonáticas presentes na argila sem implicar em alterações à estrutura da paligorsquita. Contudo, a ativação térmica resultou em consideráveis danos estruturais no argilomineral, devido às perdas das águas zeolítica e coordenada. Além disso, através dos ensaios de adsorção, concluiu-se que ambas as ativações elevaram o potencial adsorptivo da argila paligorsquita para o corante catiônico violeta cristal, de modo que este processo apresenta-se como uma alternativa promissora e de baixo custo para o tratamento de efluentes da indústria têxtil.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à UFCG e ao Laboratório de Tecnologia dos Materiais (LTM) onde a pesquisa foi realizada; ao orientador Gelmires de Araújo Neves, responsável pelo desenvolvimento do projeto segundo o PIBITI/CNPq-UFCG; e a todos os colegas de laboratório. Esta iniciação científica foi desenvolvida com o apoio da PROPEX-UFCG.

REFERÊNCIAS

- AL-FUTAISI, A.; JAMRAH, A.; AL-HANAI, R. Aspects of cationic dye molecule adsorption to palygorskite. **Desalination**, v. 214, p. 327-342, 2007.
- AZHA, S. F.; SELLAOUI, L.; YUNUS, E. H. E.; YEE, C. J.; BONILLA-PETRICIOLET, A.; LAMINE, A. B.; ISMAIL, S. Iron-modified composite adsorbent coating for azo dye removal and its regeneration by photo-Fenton process: Synthesis, characterization

and adsorption mechanism interpretation. **Chemical Engineering Journal**, v. 361, p. 31-40, 2019.

BOUDRICHE, L.; CALVET, R.; HAMDI, B.; BALARD, H. Effect of acid treatment on surface properties evolution of attapulgite clay: An application of inverse gas chromatography. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 392, p. 45-54, 2011.

CÂMARA, A. B.; SALES, R. V.; BERTOLINO, L. C.; FURLANETTO, R. P.; RODRÍGUEZ-CASTELLÓN, E.; DE CARVALHO, L. S. Novel application for palygorskite clay mineral: a kinetic and thermodynamic assessment of diesel fuel desulfurization. **Adsorption**, v. 26, n. 2, p. 267-282, 2020.

CHEN, H.; ZHAO, J.; ZHONG, A.; JIN, Y. Removal capacity and adsorption mechanism of heat-treated palygorskite clay for methylene blue. **Chemical Engineering Journal**, v. 174, p. 143-150, 2011.

CRINI, G.; LICHTFOUSE, E.; WILSON, L. D.; MORIN-CRINI, N. Conventional and non-conventional adsorbents for wastewater treatment. **Environmental Chemistry Letters**, v. 17, p. 195-213, 2019.

FROST, R. L.; LOCOS, O. B.; RUAN, H.; KLOPROGGE, J. T. Near-infrared and mid-infrared spectroscopic study of sepiolites and palygorskites. **Vibrational Spectroscopy**, v. 27, p. 1-13, 2001.

GAN, F.; ZHOU, J.; WANG, H.; DU, C.; CHEN, X. Removal of phosphate from aqueous solution by thermally treated natural palygorskite. **Water Research**, v. 43, p. 2907-2915, 2009.

KHAN, M.A.; UDDIN, M.K.; BUSHRA, R.; AHMAD, A.; NABI, S.A. Synthesis and characterization of polyaniline Zr (IV) molybdophosphate for the adsorption of phenol from aqueous solution. **Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis**, v. 113, n. 2, p. 499-517, 2014.

MANI, S.; CHOWDHARY, P.; BHARAGAVA, R. N. Textile Wastewater Dyes: Toxicity Profile and Treatment Approaches. In: BHARAGAVA, R. N.; CHOWDHARY, P. **Emerging and Eco-Friendly Approaches for Waste Management**, p. 219-244, 2019.

MU, B.; WANG, A. Adsorption of dyes onto palygorskite and its composites: A review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 4, p. 1274-1294, 2016.

ORTEGA, E. P.; CASTILLO, N. M.; CABRERA, A. R. Comparative study of the effect of structural arrangement of clays in the thermal activation: Evaluation of their adsorption capacity to remove Cd(II). **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8, 2020.

PAVITHRA, K. G.; KUMAR, P. S.; JAIKUMAR, V.; RAJAN, P. S. Removal of colorants from wastewater: A review on sources and treatment strategies. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 75, p. 1-19, 2019.

RUSMIN, R.; SARKAR, B.; BISWAS, B.; CHURCHMAN, J.; LIU, Y.; NAIDU, R. Structural, electrokinetic and surface properties of activated palygorskite for environmental application. **Applied Clay Science**, v. 134, p. 95-102, 2016.

SAHU, O.; SINGH, N. Significance of bioadsorption process on textile industry wastewater. In: **The Impact and Prospects of Green Chemistry for Textile Technology**. Elsevier, 2019. p. 367-416.

SOUSA, H. R.; SILVA, L. S.; SOUSA, P. A. A.; SOUSA, R. R. M.; FONSECA, M. G.; OSAJIMA, J. A.; SILVA-FILHO, E. C. Evaluation of methylene blue removal by plasma activated palygorskites. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 8, p. 5432-5442, 2019.

TANG, H.; LI, W.; ZHANG, T.; LI, Q.; XING, J.; LIU, H. Improvement in diesel desulfurization capacity by equilibrium isotherms analysis. **Separation and Purification Technology**, v. 78, p. 352-356, 2011.

TANG, J.; MU, B.; ZONG, L.; ZHENG, M.; WANG, A. From waste hot-pot oil as carbon precursor to development of recyclable attapulgite/carbon composites for wastewater treatment. **Journal of Environmental Sciences**, v. 75, p. 346-358, 2019.

TIAN, G.; WANG, W.; KANG, Y.; WANG, A. Ammonium sulfide-assisted hydrothermal activation of palygorskite for enhanced adsorption of methyl violet. **Journal of Environmental Sciences**, v. 41, p. 33-43, 2016.

TIAN, G.; WANG, W.; MU, B.; KANG, Y.; WANG, A. Facile fabrication of carbon/attapulgite composite for bleaching of palm oil. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 50, p. 252-258, 2015.

UDDIN, M. T.; RAHMAN, M. A.; RUKANUZZAMAN, M.; ISLAM, M. A. A potential low cost adsorbent for the removal of cationic dyes from aqueous solutions. **Appl Water Sci**, v. 7, p. 2831-2842, 2017.

WANG, W.; WANG, F.; KANG, Y.; WANG, A. Enhanced adsorptive removal of methylene blue from aqueous solution by alkali-activated palygorskite. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 226, p. 83, 2015.

WONG, S.; ABD GHAFAR, N.; NGADI, N.; RAZMI, F.A.; INUWA, I.M.; MAT, R.; AMIN, N.A.S. Effective removal of anionic textile dyes using adsorbent synthesized from coffee waste. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1-13, 2020.

YANG, R.; LI, D.; LI, A.; YANG, H. Adsorption properties and mechanisms of palygorskite for removal of various ionic dyes from water. **Applied Clay Science**, v. 151, p. 20-28, 2018.

YASEEN, D. A.; SCHOLZ, M. Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic effluents: a critical review. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 16, p. 1193-1226, 2018.

YOUCEF, L. D.; BELAROU, L. S.; GALINDO, A. L. Adsorption of a cationic methylene blue dye on an Algerian palygorskite. **Applied Clay Science**, v. 179, 2019.

ZHANG, Y.; WANG, W.; ZHANG, J.; LIU, P.; WANG, A. A comparative study about adsorption of natural palygorskite for methylene blue. **Chemical Engineering Journal**, v. 262, p. 390-398, 2015.

ZHUANG, G.; ZHANG, Z.; JABER, M.; GAO, J.; PENG, S. Comparative study on the structures and properties of organo-montmorillonite and organo-palygorskite in oil-based drilling fluids. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 56, p. 248-257, 2017.

ZHU, Y.; CHEN, T.; LIU, H.; XU, B.; XIE, J. Kinetics and thermodynamics of Eu (III) and U (VI) adsorption onto palygorskite. **Journal of Molecular Liquids**, v. 219, p. 272-278, 2016.