

## ADSORÇÃO DO CORANTE REATIVO AZUL 19 EM SOLUÇÃO AQUOSA POR LAMA VERMELHA TRATADA QUIMICAMENTE COM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO

Kelli Cristina de Souza e Maria Lúcia Pereira Antunes\*

Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Estadual Paulista, Av. Três de Março, 511, 18087-180 Sorocaba – SP, Brasil

Fabiano Tomazini da Conceição

Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Av. 24-A, 1515, 13506-900 Rio Claro – SP, Brasil

Recebido em 9/7/12; aceito em 7/12/12; publicado na web em 12/3/13

ADSORPTION OF REACTIVE BLUE 19 DYE IN AQUEOUS SOLUTION BY RED MUD CHEMICALLY TREATED WITH HYDROGEN PEROXIDE. Adsorption of Reactive Blue 19 dye onto activated red mud was investigated. Red mud was treated with hydrogen peroxide (LVQ) and heated at both 400 °C (LVQ400) and 500 °C (LVQ500). These samples were characterized by pH, specific surface area, point of zero charge and mineralogical composition. Adsorption was found to be significantly dependent on solution pH, with acidic conditions proving to be the most favorable. The adsorption followed pseudo-second-order kinetics. The Langmuir isotherm was the most appropriate to describe the phenomenon of dye removal using LVQ, LVQ400 and LVQ500, with maximum adsorption capacity of 384.62, 357.14 and 454.54 mg g<sup>-1</sup>, respectively.

Keywords: adsorption; reactive dye; red mud.

### INTRODUÇÃO

O setor têxtil é um dos mais antigos e tradicionais segmentos industriais, além de ser responsável por uma importante parcela da economia de vários países. Ele se caracteriza por um elevado consumo de água e uma geração de grandes volumes de efluentes líquidos, os quais apresentam altas concentrações de corantes e de produtos químicos, com grande quantidade de produtos tóxicos,<sup>1</sup> o que torna a atividade têxtil uma das mais deficitárias na área ambiental.

Os efluentes produzidos por essa atividade industrial costumam ser fortemente coloridos e resistentes ao tratamento convencional,<sup>2,3</sup> e 90% dos corantes têxteis que passam pelas estações de tratamento de lodo ativado não sofrem alterações, indo diretamente para os rios.<sup>4</sup> Atualmente, são poucos os corantes utilizados que possibilitam a degradação ou remoção com uma única forma de tratamento, sendo necessários tratamentos secundários.

Para a remoção da cor de efluentes têxteis, os processos mais conhecidos e estudados são coagulação/floculação, adsorção e processos oxidativos.<sup>5</sup> Porém, a adsorção é a técnica que apresenta melhores resultados e a mais aplicada nas indústrias.<sup>6</sup>

O material que possui uma elevada capacidade de adsorção, amplamente empregado para o tratamento de efluentes, é o carvão ativado. Entretanto, a utilização desse material é onerosa para a indústria têxtil.<sup>7-9</sup>

Têm sido desenvolvidas pesquisas com o objetivo de se encontrar adsorventes alternativos e de baixo custo para o tratamento de efluentes.<sup>6,10</sup> Entre esses materiais alternativos estão resíduos da indústria e da agricultura.

Um resíduo industrial que vem sendo estudado como meio adsorvedor de corante têxtil é a lama vermelha.<sup>11-16</sup> A lama vermelha é um resíduo insolúvel, gerado em grandes proporções pela indústria de alumínio durante o processo do refino da bauxita.<sup>17</sup> Possui um pH alcalino (de 10,0 a 12,0), o que dificulta a sua reutilização. Outra característica bastante relevante é que a sua disposição deve ser feita em locais adequados, denominados lagoas de disposição, que são construídas com técnicas de custo elevado para que não haja

lixiviação de seus componentes e a conseqüente contaminação de águas subterrâneas.<sup>18</sup>

Estudos sobre a lama vermelha demonstram que a ativação térmica desse material provoca um aumento em sua área específica, o que pode representar um aumento na capacidade de adsorção desse material.<sup>19</sup>

Em vários trabalhos foi estudada a capacidade da lama vermelha, tratada termicamente a diferentes temperaturas, adsorver corantes.<sup>12,14,20</sup> Há também estudos investigando o comportamento de adsorção da lama vermelha para diferentes corantes, quando esse material é tratado quimicamente com ácidos.<sup>13,16</sup> Esses resultados mostram que a capacidade de adsorção da lama vermelha se altera dependendo da forma de sua ativação.

Com o objetivo de criar uma nova forma de ativação química para a lama vermelha, este trabalho usou peróxido de hidrogênio, já que este composto também é bastante utilizado na ativação de carvão.<sup>21</sup>

Buscando ampliar o conhecimento sobre diferentes formas de ativação da lama vermelha e sua capacidade de adsorção de corantes, o presente estudo investigou o potencial de adsorção de lama vermelha ativada por tratamento químico com peróxido de hidrogênio, bem como sua ativação térmica nas temperaturas de 400 e 500 °C para o corante Reativo Azul 19 (RA 19).

### PARTE EXPERIMENTAL

#### Ativação química e térmica da lama vermelha

A lama vermelha utilizada foi fornecida por uma indústria produtora de alumínio localizada no Estado de São Paulo. Inicialmente, a amostra foi seca em estufa a 100 °C. Em seguida, 10 g de lama vermelha seca foram adicionados a 20 mL de solução de peróxido de hidrogênio a uma concentração de 20%. Essa solução foi mantida em mesa agitadora por 20 min. Após esse tempo, foi feita a lavagem da lama vermelha com água destilada para a retirada do peróxido de hidrogênio, passando por um filtro com o auxílio de uma bomba a vácuo durante 10 min. Essas amostras foram denominadas LVQ.

A amostra após o tratamento químico (LVQ) foi ativada por tratamento térmico nas temperaturas de 400 e 500 °C utilizando-se

\*e-mail: malu@sorocaba.unesp.br

uma mufla por um tempo de 3 h. Essas amostras foram denominadas LVQ400 e LVQ500, respectivamente.

### Caracterização do material adsorvente

Para a determinação do pH das amostras de lama vermelha, utilizou-se um medidor YSI85 calibrado com soluções padrão de pH 7,000 ( $7,005 \pm 0,010$ , temperatura de  $25,0 \pm 0,2$  °C) e 10,00.<sup>19</sup>

A avaliação das fases cristalográficas presentes nas amostras LVQ, LVQ400 e LVQ500 foi realizada por meio da difração de raios-X (DRX), usando-se um difratômetro Rigaku Miniflex, com radiação monocromática do cobre obtida por 40 kV e corrente de filamento de 30 mA. Foi utilizada varredura com variação em  $2\theta$  de 5° a 65°, com tempo de exposição de 1,0 s e passo angular de 0,050°.

A área superficial específica da amostra de lama foi obtida por meio da técnica de B.E.T. (Brunauer-Emmett-Teller), caracterizada pela adsorção física e dessorção de nitrogênio (N<sub>2</sub>) no material adsorvente a baixas temperaturas, realizada com o uso de um porosímetro Micromeritics – ASAP 2020 V3.

Determinou-se também o pH do ponto de carga zero (pH<sub>pcz</sub>) das amostras de lama. Para isso, foram preparadas soluções de NaCl (0,1 N) aferidas para pH de 1 a 11. A essas soluções foram acrescentados 0,10 g de lama. Esse sistema foi mantido sob agitação contínua em mesa agitadora a 250 rpm, por 24 h, à temperatura ambiente. Após esse período, com auxílio de um pHmetro de bancada (Qualxtron 8010), foi medido o pH final das soluções e construído o gráfico pH<sub>final</sub> versus pH<sub>inicial</sub>, visando identificar o pH do ponto de carga zero (pH<sub>pcz</sub>), ou seja, o ponto da curva onde o pH<sub>inicial</sub> é igual ao valor de pH<sub>final</sub>.<sup>8</sup>

### Corante Reativo Azul 19 (RA 19)

O RA 19, cuja fórmula molecular é C<sub>22</sub>H<sub>16</sub>N<sub>2</sub>O<sub>11</sub>S<sub>3</sub>Na<sub>2</sub>, tem o grupo azo como cromóforo e é caracterizado como corante aniônico (Figura 1). O comprimento de onda de maior absorbância do corante corresponde a 590 nm e foi escolhido para monitorar o processo de adsorção (utilizando um espectrofotômetro da marca Hach e modelo DR/2800).

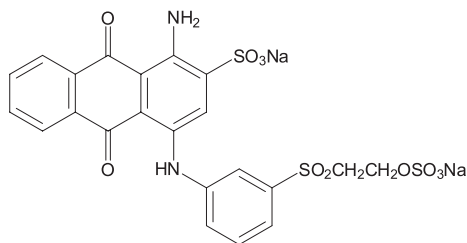


Figura 1. Fórmula estrutural do corante RA 19

#### Estudo da adsorção do corante

Realizou-se o estudo da influência do pH, de modo a se identificar o melhor pH para a realização das adsorções. Para isso, foram utilizadas amostras de LVQ e avaliadas as porcentagens de adsorção em pH 2, 4, 6, 8 e 10.

O estudo da cinética de adsorção foi realizado por meio do acompanhamento da concentração do corante RA 19 ao longo do tempo. Para isso, 0,2 g de adsorvente foram colocados em contato com 50 mL de solução de corante (nas concentrações 500; 1000; 2000 e 3000 mg L<sup>-1</sup>), na condição de pH que forneceu a maior porcentagem de adsorção. Após intervalos de tempo de 15 min, uma alíquota das amostras foi retirada e centrifugada para análise da concentração do corante.

As concentrações de RA 19 foram determinadas por intermédio de um espectrofotômetro Hach DR-2800, com leitura no comprimento

de onda de 590 nm. A quantidade de corante RA 19 adsorvida na fase adsorvente,  $q$  (mg g<sup>-1</sup>), foi calculada usando-se o balanço de massas apresentado na Equação 1 e a porcentagem de adsorção foi calculada usando-se a Equação 2.

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{M} \quad (1)$$

onde  $C_o$  é a concentração inicial do corante RA 19 (mg L<sup>-1</sup>),  $C_e$  é a concentração de corante RA 19 no tempo de equilíbrio (mg L<sup>-1</sup>),  $V$  é o volume da solução de corante RA 19 (L) e  $M$  é a massa do adsorvente (g).

$$\%A = \frac{(C_o - C_f)}{C_o} 100 \quad (2)$$

onde  $C_o$  é a concentração inicial de corante RA 19 (mg L<sup>-1</sup>) e  $C_f$  é a concentração final de corante RA 19 no tempo  $t$  (mg L<sup>-1</sup>).

As isotermas de adsorção foram determinadas, para a faixa de concentração de 500 a 3000 mg L<sup>-1</sup>, adicionando-se 50 mL de solução de RA 19 em 0,2 g de amostras de lama (LVQ, LVQ400 e LVQ500). Essa suspensão foi submetida à agitação de 250 rpm por um intervalo de tempo correspondente ao tempo de equilíbrio.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização das amostras de lama vermelha como material adsorvente

A lama vermelha é constituída em sua maioria por gibsita (Gib; Al(OH)<sub>3</sub>), hematita (Hem: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), goethita (Goe: FeO (OH)), quartzo (Qua: SiO<sub>2</sub>), por uma leve presença do argilomineral caulinita (Kao: Al<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-(OH)<sub>4</sub>) e zeólitas de sódio ((Sod: NaAlSi<sub>4</sub>O<sub>12</sub>Cl) e a canrenita (Can)).<sup>19,22</sup> Nas fases mineralógicas identificadas pela DRX (Figura 2), observou-se que a goethita e a gibsita são os principais componentes encontrados na amostra LVQ. Porém, para as amostras LVQ400 e LVQ500, os picos correspondentes à gibsita e à goethita já não são observados, pois com a queima ocorre a conversão dos hidróxidos em óxidos, transformando a gibsita e a goethita em alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), respectivamente.<sup>19,22</sup> Os demais minerais presentes na lama vermelha sem ativação não são alterados pelos tratamentos químico e térmico (Figura 2).

Conforme a Tabela 1, observa-se que a lama vermelha sem tratamento possui um pH alcalino de  $10,25 \pm 0,02$  e valor de pH<sub>pcz</sub> de  $8,2 \pm 0,1$ . Após a ativação, por peróxido de hidrogênio, não há uma alteração significativa nos valores de pH e pH<sub>pcz</sub>. O valor do pH indica que a ativação por peróxido de hidrogênio não neutraliza a lama vermelha e o valor de pH<sub>pcz</sub> indica que, para ocorrer a adsorção do corante aniônico, a solução corante e a lama precisam estar com pH abaixo de  $8,2 \pm 0,1$ , caso contrário não há adsorção.

A amostra que apresenta maior área específica é a LVQ400, indicando assim que a ativação química e térmica provoca um aumento significativo na área específica em relação à lama vermelha sem tratamento.

### Influência do pH

O pH tem grande influência no processo de adsorção de corantes.<sup>5</sup> Assim, foi realizado um estudo para identificar o melhor pH para a realização das adsorções.

A Figura 3 mostra que para todas as concentrações iniciais do corante, o pH 4 foi o que se mostrou mais eficaz na adsorção do corante RA 19, utilizando-se, assim, esse valor para todos os ensaios.

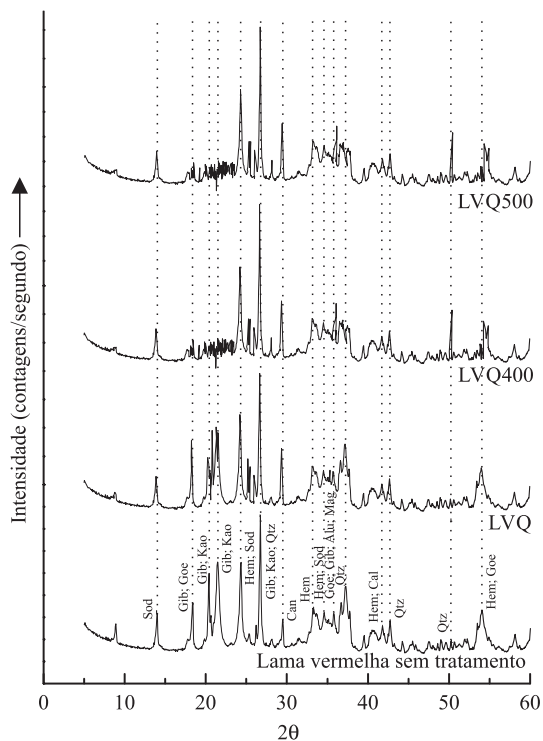


Figura 2. Difratogramas de raios-X da lama vermelha sem tratamento, LVQ, LVQ400 e LVQ500

Tabela 1. pH, pH<sub>pcz</sub> e área específica da lama vermelha sem tratamento, LVQ, LVQ400 e LVQ500

|                           | Lama vermelha sem tratamento | LVQ  | LVQ400 | LVQ500 |
|---------------------------|------------------------------|------|--------|--------|
| pH (± 0,02)               | 10,25                        | 10,6 | 10,14  | 9,88   |
| pH <sub>pcz</sub> (± 0,1) | 8,2                          | 8,2  | 8,2    | 8,1    |
| Área superficial          | 15,44                        | 21,6 | 57,77  | 45,62  |

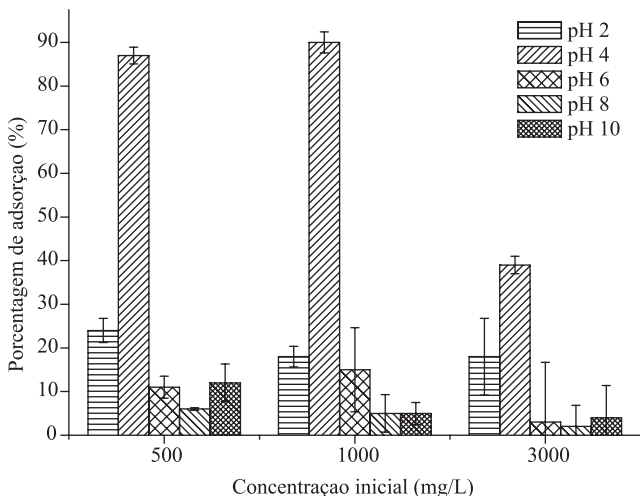


Figura 3. Porcentagem de adsorção do corante RA19 em LVQ para vários pHs

Estudos cinéticos

A Figura 4 indica que houve maior remoção do corante RA 19 nos períodos iniciais de contato. A porcentagem de remoção de corante pelas diferentes amostras de adsorvente foi rápida no início, mas diminuiu com o tempo até alcançar o equilíbrio aos 60 min.

Após atingir o equilíbrio, foi calculada a porcentagem de adsorção

para todas as amostras. Para a lama vermelha sem tratamento, as porcentagens de adsorção foram 73, 49, 39 e 12% para as concentrações iniciais de 500, 1000, 2000 e 3000 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. Para as mesmas concentrações iniciais, as porcentagens de adsorção para a amostra LVQ foram 84, 70, 50 e 38%. Para a amostra LVQ400 as porcentagens de adsorção foram 96, 59, 43 e 35%, e para a amostra LVQ500 as porcentagens foram 90, 63, 47 e 44%. Esses resultados

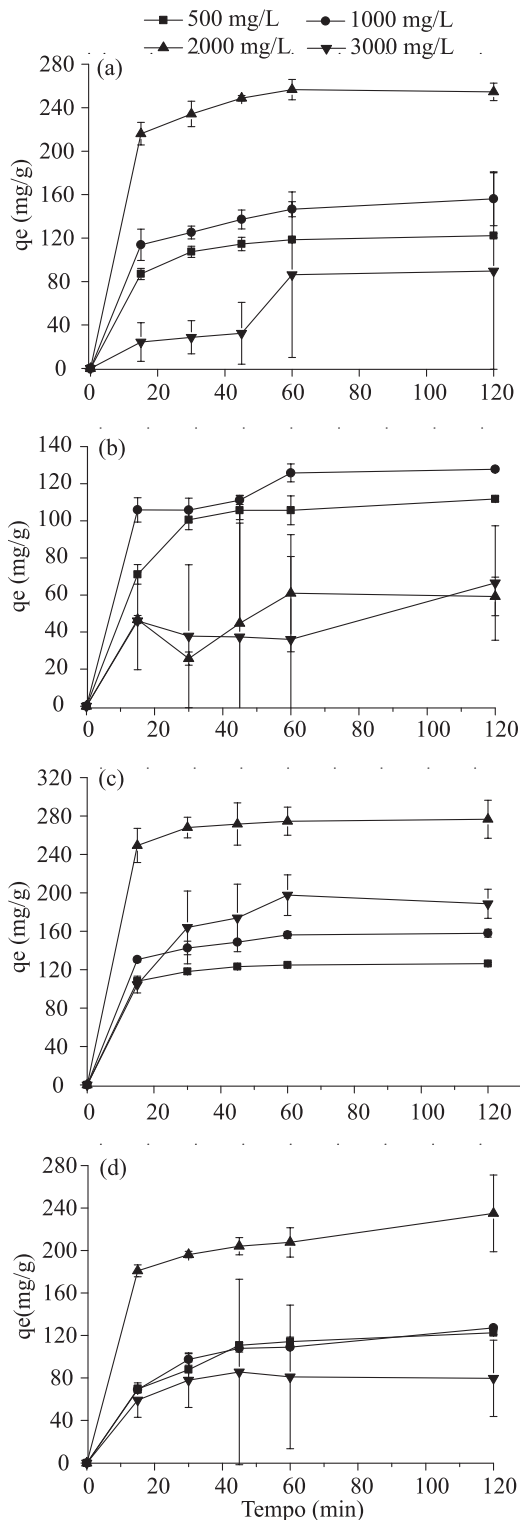


Figura 4. Efeito do tempo de agitação e da concentração sobre a capacidade de adsorção do RA 19: (a) lama vermelha sem tratamento (b) LVQ (c) LVQ400 (d) LVQ500

**Tabela 2.** Parâmetros cinéticos para a remoção do RA 19 pelas diferentes amostras de lama vermelha

| LVQ                                |                |                     |                            |                |                |                     |                            |                |
|------------------------------------|----------------|---------------------|----------------------------|----------------|----------------|---------------------|----------------------------|----------------|
| 1ª Ordem                           |                |                     |                            |                | 2ª Ordem       |                     |                            |                |
| Concentração (mg L <sup>-1</sup> ) | k <sub>1</sub> | q <sub>e(exp)</sub> | q <sub>e (calculado)</sub> | R <sup>2</sup> | k <sub>2</sub> | q <sub>e(exp)</sub> | q <sub>e (calculado)</sub> | R <sup>2</sup> |
| 500                                | 0,0903         | 107,71              | 118,14                     | 0,9946         | 0,0011         | 107,71              | 119,05                     | 0,9979         |
| 1000                               | 0,0491         | 121,56              | 71,4                       | 0,7353         | 0,0011         | 121,56              | 135,14                     | 0,9965         |
| 2000                               | 0,021          | 60,07               | 40,81                      | 0,3279         | 0,0005         | 60,07               | 72,99                      | 0,8277         |
| 3000                               | 0,0032         | 51,26               | 18,5                       | 0,0034         | 0              | 51,26               | 153,85                     | 0,0132         |
| LVQ400                             |                |                     |                            |                |                |                     |                            |                |
| 500                                | 0,0928         | 124,72              | 99,17                      | 0,9779         | 0,0029         | 124,72              | 129,87                     | 0,9999         |
| 1000                               | 0,0707         | 154,26              | 109,17                     | 0,9339         | 0,0015         | 154,26              | 163,93                     | 0,9997         |
| 2000                               | 0,093          | 275,7               | 175,71                     | 0,9301         | 0,0023         | 275,7               | 277,78                     | 1              |
| 3000                               | 0,0348         | 193,14              | 153,89                     | 0,6869         | 0              | 193,14              | 153,85                     | 0,9746         |
| LVQ500                             |                |                     |                            |                |                |                     |                            |                |
| 500                                | 0,0656         | 115,89              | 129,93                     | 0,9441         | 0,0005         | 115,89              | 138,89                     | 0,9965         |
| 1000                               | 0,0629         | 114,68              | 115,24                     | 0,9999         | 0,0004         | 114,68              | 142,86                     | 0,9979         |
| 2000                               | 0,1009         | 205,85              | 167,65                     | 0,9806         | 0,0012         | 205,85              | 29,94                      | 0,8666         |
| 3000                               | 0,006          | 55,46               | 16,19                      | 0,0035         | 0,0003         | 55,46               | 90,91                      | 0,6925         |

mostram que as diferentes formas de ativação da lama vermelha com peróxido de hidrogênio levam a um aumento na porcentagem de adsorção, quando comparados com os resultados da lama vermelha sem tratamento.

O comportamento transiente do processo de adsorção foi analisado utilizando-se os modelos cinéticos de pseudoprimeira e pseudossegunda ordens.

A equação cinética da pseudoprimeira ordem é largamente utilizada para prever a cinética de adsorção de corantes.<sup>23</sup> A velocidade de adsorção pode ser determinada por uma expressão de velocidade de pseudoprimeira ordem dada por Lagergren para adsorção em sistema líquido-sólido baseada na capacidade de adsorção do sólido.<sup>24</sup> Lagergren assumiu que a velocidade de remoção do adsorbato com o tempo é diretamente proporcional à diferença na concentração de saturação e ao número de sítios ativos do sólido. A equação cinética de Lagergren é a mais usada para a adsorção de um adsorbato de uma solução aquosa.<sup>25</sup>

A forma linear da equação da pseudoprimeira ordem é dada pela Equação 3:

$$\log (q_e - q_t) = \log (q_e) - k_1 t / 2,303t \quad (3)$$

onde  $q_e$  e  $q_t$  são as quantidades de RA 19 adsorvidas (mg g<sup>-1</sup>) no equilíbrio e no tempo  $t$  (min), respectivamente;  $k_1$  é a constante de velocidade de adsorção (min<sup>-1</sup>). A constante  $k_1$  pode ser calculada por meio da inclinação da reta do gráfico  $\log (q_e - q)$  vs  $t$ .

Os dados cinéticos também foram analisados usando-se as cinéticas de pseudossegunda ordem, em que a velocidade da reação é dependente da quantidade de soluto adsorvido na superfície do adsorvente e da quantidade adsorvida no equilíbrio.<sup>26</sup> O modelo linear de pseudossegunda ordem pode ser representado por:

$$t/q_t = 1/k_2 q_e^2 + (1/q_e)t \quad (4)$$

onde  $q_e$  e  $q_t$  são as quantidades de RA 19 adsorvidas (mg g<sup>-1</sup>) no equilíbrio e no tempo  $t$  (min),  $k_2$  é a constante de velocidade de pseudossegunda ordem (g mg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>).

A Tabela 2 mostra os parâmetros cinéticos do processo de adsorção do RA 19 para as diferentes formas de ativação.

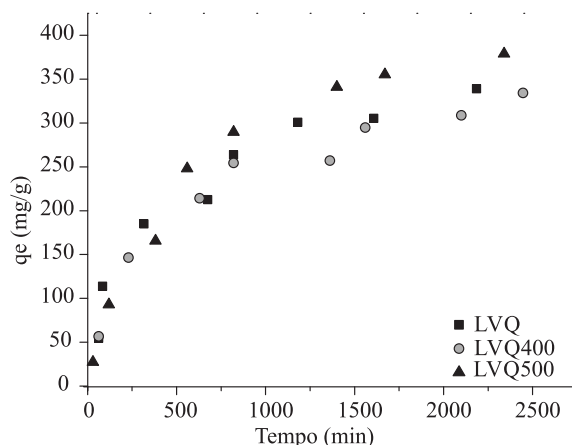
A avaliação quantitativa dos modelos foi realizada pela comparação dos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) e pelos  $q_e$  calculados vs os  $q_e$  obtidos experimentalmente para os modelos de pseudoprimeira e pseudossegunda ordens. Os resultados mostraram que o modelo que melhor se ajusta aos dados experimentais é o que representa o mecanismo de pseudossegunda ordem.

### Isotermas de adsorção

Os dados de adsorção são comumente representados por uma isoterma de adsorção, a qual mostra relação de equilíbrio entre a quantidade do material adsorvido e a concentração na fase fluida.<sup>27</sup>

A Figura 5 apresenta as isotermas de adsorção para as amostras LVQ, LVQ400 e LVQ500. A análise dessas isotermas foi feita utilizando-se os modelos de Langmuir e Freundlich.

O modelo de adsorção de Langmuir baseia-se na suposição de que a adsorção máxima corresponde à monocamada saturada de moléculas



**Figura 5.** Isoterma de adsorção para o corante RA19 em LVQ, LVQ400 e LVQ500

de soluto na superfície de adsorvente, sem que haja qualquer interação lateral entre as moléculas adsorvidas.<sup>28</sup> Esse modelo foi desenvolvido presumindo que o adsorvente possui um número limitado de posições disponíveis na superfície e que as moléculas podem ser adsorvidas até que os sítios superficiais disponíveis estejam ocupados. Considera-se que as moléculas serão adsorvidas apenas nos sítios livres.

Teoricamente, alcança-se um valor de saturação além do qual não ocorre mais a adsorção. As moléculas são adsorvidas e aderem à superfície adsorvente em monocamada.<sup>29</sup>

A expressão de Langmuir é representada pela Equação 5 e sua forma linearizada é apresentada na Equação 6 :

$$q_e = \frac{(q_m K_L C_e)}{(1 + K_L C_e)} \quad (5)$$

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \left(\frac{1}{q_m}\right) C_e \quad (6)$$

onde  $C_e$  é a concentração de RA 19 adsorvida no tempo de equilíbrio ( $\text{mg L}^{-1}$ ),  $q_e$  é a quantidade de RA 19 no tempo de equilíbrio ( $\text{mg g}^{-1}$ ),  $q_m$  ( $\text{mg g}^{-1}$ ) é a quantidade máxima de adsorção de RA 19 e  $K_L$  é a constante de equilíbrio de adsorção.

A isoterma de Freundlich descreve o equilíbrio em superfícies heterogêneas, conseqüentemente não assume a capacidade de monocamada.<sup>30,31</sup> Esse modelo foi proposto inicialmente para descrever empiricamente o fenômeno de adsorção de gases.<sup>32</sup>

O modelo pode ser expresso pela Equação 7 e apresentado pela forma linear da Equação 8:

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (7)$$

$$\log q_e = \log K_F + \left(\frac{1}{n}\right) \log C_e \quad (8)$$

onde  $C_e$  é a concentração do RA 19 no tempo de equilíbrio ( $\text{mg L}^{-1}$ ),  $q_e$  é a quantidade adsorvida do RA no tempo de equilíbrio ( $\text{mg g}^{-1}$ ),  $K_F$  e  $n$  são constantes relacionadas com a capacidade de adsorção e a intensidade de adsorção, respectivamente.

Os parâmetros das isotermas de Langmuir e Freundlich foram determinados pelos coeficientes lineares e angulares dos ajustes na forma linearizada (Tabela 3). Os melhores ajustes foram obtidos utilizando-se o modelo da isoterma de Langmuir, evidenciados pelos valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ). A capacidade máxima de adsorção para as amostras LVQ, LVQ400 e LVQ500 foi de 384,62; 357,14 e 454,54  $\text{mg g}^{-1}$ , respectivamente. Comparando esses resultados com dados da literatura para o mesmo corante<sup>20</sup> e a mesma condição de pH, observa-se que a capacidade máxima de adsorção da lama vermelha sem tratamento é de 168,7  $\text{mg g}^{-1}$ . Observa-se também que todas as formas de ativação da lama vermelha com peróxido de

hidrogênio, apresentadas neste trabalho, levam a um aumento da capacidade de adsorção para o corante RA 19.

## CONCLUSÃO

A ativação da lama vermelha com peróxido de hidrogênio não altera a característica mineralógica desse resíduo. Porém, o tratamento térmico a 400 e 500 °C causa a transformação dos hidróxidos, presentes na amostra, em óxidos. Essa forma de ativação também provoca um aumento na área específica dessas amostras. O pH e o  $\text{pH}_{\text{pzc}}$  permanecem iguais para todas as formas estudadas de ativação da lama vermelha.

Este estudo reporta a remoção do corante RA 19 utilizando lama ativada por peróxido de hidrogênio, seguida da ativação térmica. A adsorção mostra-se fortemente dependente do pH da solução, apresentando a melhor condição de adsorção em pH 4 (pH ácido). A cinética de adsorção segue o modelo de pseudosegunda ordem. A isoterma de Langmuir é mais apropriada para descrever o fenômeno de remoção do corante RA 19 usando LVQ, LVQ400 e LVQ500, com valores de máxima capacidade de adsorção de 384,62; 357,14 e 454,54  $\text{mg g}^{-1}$ , respectivamente. Este estudo indica que a LVQ, LVQ400 e LVQ500 têm potencial de aplicação no tratamento de efluentes têxteis industriais, quando submetidas a condições controladas de pH.

## AGRADECIMENTOS

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) e ao PROAP/UNESP, pelo apoio financeiro, e à CBA.

## REFERÊNCIAS

- Vasques, A. R.; Souza, S. M. A. G. U.; Weissenberg, L.; Souza, A. A. U.; Valle, J. A. B.; *Eng. Sanit. Ambient.* **2011**, *16*, 245.
- Vandevivere, P. C.; Bianchini, R.; Verstraete, W.; *J. Chem. Technol. Biotechnol.* **1998**, *73*, 289.
- Sylos, P. F.; Ignachewski, F.; Fujiwara, S. T.; *Resumos do XVI Encontro de Química da Região Sul*, Blumenau, Brasil, 2008.
- Peterle, W. S.; Costa, A. C. S.; Sallo, F. S.; *Biomassa Energia* **2007**, *1*, 49.
- Araujo, F. V. F.; Yokoyama, L.; Teixeira, L. A. C.; *Quim. Nova* **2006**, *29*, 11.
- Crini, G.; *Bioresour. Technol.* **2006**, *97*, 1061.
- Dallago, R. M.; Smaniotto, A.; Oliveira, L. C. A.; *Quim. Nova* **2005**, *28*, 433.
- Orfão, J. J. M.; Silva, A. I. M.; Pereira, J. C. V.; Barata, S. A.; Fonseca, I. M.; Faria, P. C. C.; Pereira, M. F. R.; *J. Colloid Interface Sci.* **2006**, *296*, 480.
- Debrassi, A.; Largura, M. C. T.; Rodrigues, C. A.; *Quim. Nova* **2011**, *34*, 764.
- Ramesh, A.; Lee, D. J.; Wong, J. W. C.; *J. Colloid Interface Sci.* **2005**, *291*, 588.
- Namasivayam, C.; Yamuna, R. T.; Arasi, D. J. S. E.; *Sep. Sci. Technol.* **2002**, *37*, 2421.
- Gupta, V. K.; Suhas, A. I.; Saini, V. K.; *Ind. Eng. Chem. Res.* **2004**, *43*, 1740.
- Tor, A.; Cengeloglu, Y.; *J. Hazard. Mater.* **2006**, *B138*, 409.
- Silva Filho, E. B.; Alves, M. C. M.; Motta, M.; Oliveira, E. H. C.; Brander Junior, W.; *Quim. Nova* **2008**, *31*, 985.
- Wang, Q.; Luan, Z.; Wei, N.; Li, J.; Liu, C.; *J. Hazard. Mater.* **2009**, *170*, 690.
- Nourouzi, S.; Badii, K.; Ardejani, F. D.; *Water Sci. Technol.* **2010**, *62*, 2491.

**Tabela 3.** Parâmetros das isotermas de Langmuir e Freundlich do RA19 para as diferentes amostras de lama vermelha

| LVQ      |                              |        |            |        |         |
|----------|------------------------------|--------|------------|--------|---------|
| Langmuir |                              |        | Freundlich |        |         |
| $R^2$    | $q_m$ ( $\text{mg g}^{-1}$ ) | $K_L$  | $R^2$      | $n$    | $K_F$   |
| 0,98     | 384,62                       | 0,0027 | 0,9834     | 2,9543 | 25,4156 |
| LVQ400   |                              |        |            |        |         |
| 0,9434   | 357,14                       | 0,003  | 0,7856     | 5,3735 | 66,1759 |
| LVQ500   |                              |        |            |        |         |
| 0,8955   | 454,54                       | 0,0021 | 0,9058     | 3,1192 | 30,2413 |

17. Silva Filho, E. B.; Alves, M. C. M.; Da Motta, M.; *Rev. Mater.* **2007**, *12*, 322.
18. Jones, B. E. H.; Haynes, R. J.; *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* **2011**, *41*, 271.
19. Antunes, M. L. P.; Couperthwaite, S. J.; Conceição, F. T.; Jesus, C. P. C.; Kiyohara, P. K.; Coelho, A. C. V.; Frost, R. L.; *Ind. Eng. Chem. Res.* **2012**, *51*, 775.
20. Jesus, C. P. C.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Brasil, 2011.
21. Pereira, M. F. R.; Soares, S. F.; Órfão, J. J. M.; Figueiredo, J. L.; *Carbon* **2003**, *41*, 811.
22. Mercury, J. M. R.; Cabral, A. A.; Paiva, A. E. M.; Angélica, R. S.; Neves, R. F.; Moraes, S. T.; *J. Therm. Anal. Calorim.* **2011**, *104*, 635.
23. Vadivelan, V.; Kumar, K. V.; *J. Colloid Interface Sci.* **2005**, *286*, 90.
24. Lagergren, S.; *Handlingar* **1898**, *24*, 1.
25. Ho, Y. S.; McKay, G.; *Can. J. Chem. Eng.* **1998**, *76*, 822.
26. Ho, Y. S.; Wase, D. A. J.; Forster, C. F.; *Environ. Technol.* **1996**, *17*, 71.
27. Dabrowski, A.; *Adv. Colloid Interface Sci.* **2001**, *93*, 135.
28. Eastoe, J.; Dalton, J. S.; *Adv. Colloid Interface Sci.* **2000**, *85*, 103.
29. Mall, I. D.; Srivastava, V. C.; Agarwal, N. K.; *Dyes Pigm.* **2006**, *69*, 210.
30. Dizge, N.; Aydiner, C.; Demirbas, E.; Kobya, M.; Kara, S.; *J. Hazard. Mater.* **2008**, *150*, 737.
31. Kalavathy, M. H.; Karthikeyan, T.; Rajgopal, S.; Miranda, L. R.; *J. Colloid Interface Sci.* **2005**, *292*, 354.
32. Atar, N.; Olgun, A.; Wang, S.; Liu, S.; *J. Chem. Eng. Data* **2011**, *56*, 508.