

## Artigo

**Tratamento de Águas Residuais: uma Revisão sobre a Adsorção do Corante Preto de Amido 10B**

Penha, A. V. S.; Moura, K. O.; Paz, G. L.\*

*Rev. Virtual Quim.*, 2021, 13 (2), 581-592. Data de publicação na Web: 12 de Março de 2021<http://rvq.sbg.org.br>**Contaminated Water Treatment: A Review on Adsorption of Amido Black 10B Dye**

**Abstract:** The contamination of water by dyes has become one of the most serious problems in our society, due to the toxicity of these substances, as well as the possibility of damage to the environment and human health. So, the removal of these pollutants from wastewater using adsorption has received much attention due to the efficiency and viability of this process. Therefore, this article provides information from the literature on the removal of the amido black 10B dye in various adsorbents. In general, the results show that adsorption is more favorable at acid pH, increasing the initial concentration of the dye decreases the removal percentage, while increasing the dosage of adsorbent leads to an increase in this percentage. In addition, the adsorption equilibrium data are better suited to the Langmuir or Freundlich models and, in most cases, follow pseudo-second-order kinetic model.

**Keywords:** Naphthol blue black; environmental remediation; adsorption parameters.

**Resumo**

A contaminação da água por corantes tornou-se um dos problemas mais graves da nossa sociedade, devido à toxicidade dessas substâncias, bem como a possibilidade de danos ao ambiente e à saúde humana. Assim, a remoção desses poluentes das águas residuais utilizando a adsorção tem recebido muita atenção devido à eficiência e viabilidade desse processo. Diante disso, esse artigo fornece informações da literatura sobre a remoção do corante preto de amido 10B em diversos adsorventes. De um modo geral, os resultados mostram que a adsorção é mais favorável em pH ácido, o aumento da concentração inicial do corante diminui o percentual de remoção, enquanto o aumento da dosagem de adsorbente leva ao aumento desse percentual. Além disso, os dados de equilíbrio de adsorção se ajustam melhor aos modelos de Langmuir ou Freundlich e, na maioria dos casos, seguem o modelo cinético de pseudo segunda-ordem.

**Palavras-chave:** Azul escuro de naftol; remediação ambiental; parâmetros de adsorção.

\* Universidade Estadual do Piauí, Campus de Piripiri, CEP 64260-000, Piripiri-PI, Brasil.

# Tratamento de Águas Residuais: uma Revisão sobre a Adsorção do Corante Preto de Amido 10B

Ana Vitória Sousa Penha,<sup>a</sup> Karine Oliveira Moura,<sup>b</sup> Gizeuda de Lavor da Paz<sup>a,\*</sup> 

<sup>a</sup> Universidade Estadual do Piauí, Campus de Piri-piri, CEP 64260-000, Piri-piri-PI, Brasil.

<sup>b</sup> Instituto Federal do Piauí, Campus Paulistana, CEP 64750-000, Paulistana-PI, Brasil.

\*[gizeuda@prp.uespi.br](mailto:gizeuda@prp.uespi.br)

*Recebido em 28 de Outubro de 2020. Aceito para publicação em 8 de Fevereiro de 2021.*

## 1. Introdução

## 2. Metodologia

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1. Capacidade de adsorção

### 3.2. Efeito do pH

### 3.3. Efeito da concentração inicial do corante e da dosagem de adsorvente

### 3.4. Estudos cinéticos, isotérmicos de adsorção e termodinâmicos

## 4. Conclusão

## 1. Introdução

Muitos ambientes aquáticos estão contaminados com diferentes compostos orgânicos antropogênicos, tais como compostos fenólicos, organoclorados, hidrocarbonetos aromáticos, pesticidas, polímeros e corantes sintéticos.<sup>1</sup> Um dos principais poluentes, os corantes, tem sido utilizado por muitos anos para várias aplicações, tais como na indústria alimentícia, têxtil, clínica e cosmética.<sup>2,3</sup> Calcula-se que em torno de 10 a 15 % de toda a produção mundial de corantes são liberados no fluxo de águas residuais, resultando em danos irreparáveis à saúde e ao ambiente.<sup>2,4-6</sup>

Os corantes azo, compostos orgânicos contendo o grupo cromóforo -N=N-, geralmente aniônicos, estão entre os tipos mais prejudiciais de corantes por causa de sua alta estabilidade físico-química. Assim, a liberação dessas substâncias na água leva

a sérios problemas ambientais, sobretudo efeitos carcinogênicos, mutagênicos e redução da luz solar em ambientes aquáticos, representando uma séria ameaça aos organismos aquáticos e humanos.<sup>1</sup> Portanto, a remoção desse poluente do ambiente aquático é primordial e indispensável.

Dentre a variedade de corantes existentes, cabe destacar o preto de amido 10 B<sup>2,3,5-7</sup> (Figura 1), cujas propriedades são apresentadas na Tabela 1. Este possui alta toxicidade e apresenta uma variedade de aplicações, incluindo a coloração de fibras naturais ou sintéticas, como a lã, algodão, seda, poliésteres, raiom e acrílicos. Este corante também é utilizado para diferenciar proteínas por eletroforese,<sup>8</sup> importante para o diagnóstico de inúmeras doenças. Ele também pode ser encontrado em alguns tipos de máscaras matizadoras, utilizadas para desamarelar os cabelos que foram descoloridos. No entanto, este corante pode causar sensibilização, em contato com a pele, e riscos de efeitos graves para a

saúde, em caso de exposição prolongada ou repetida.<sup>5</sup> A inalação do preto de amido 10B pode causar irritação e danos às vias respiratórias, onde os sintomas podem incluir tosse e falta de ar.<sup>8</sup> Há indícios de que essa exposição e sua liberação no ambiente podem levar a efeitos genotóxicos.<sup>9</sup>

A presença do corante preto de amido 10 B em cosméticos,<sup>15</sup> especialmente em máscaras matizadoras, que atuam como colorações temporárias, comumente usadas após o procedimento de luzes ou em cabelos grisalhos, é ainda mais preocupante uma vez que a maioria dos salões de beleza utiliza a rede de esgoto doméstica para o seu descarte. Soma-se a isso o fato de o procedimento de coloração capilar ser um dos mais frequentes nos salões de beleza, sendo realizado até mesmo em casa por pessoas que não atuam nessa área e que desconhecem os riscos associados a essa prática. Segundo Halal,<sup>16</sup> 50 % do faturamento total de um salão de beleza é decorrente dessa prática, resultando em forte impacto na indústria cosmética e, em consequência, mais produtos de coloração profissional são lançados no mercado.

Há um grande esforço mundial para conter os problemas ambientais e de saúde causados pelas águas residuais de corantes orgânicos das indústrias de couro, têxteis, tintas, dentre outras. Vários métodos<sup>17</sup> vêm sendo investigados

na tentativa de eliminar os contaminantes do ambiente aquático, tais como a adsorção, coagulação, floculação, filtração, oxidação e processos eletroquímicos. Embora todos tenham suas limitações como custo, eficiência de separação do corante e *design*, a adsorção é um método bastante propício em diferentes aspectos.<sup>18</sup>

A adsorção é um processo de transferência de massa na qual uma substância se acumula na superfície ou interface de um material. A substância que se acumula na interface é chamada adsorbato e o material no qual ocorre a adsorção é o adsorvente. A adsorção pode ser classificada como química ou física; o primeiro procedimento é devido à troca de elétrons, em que o adsorbato é quimicamente ligado à superfície; o segundo é caracterizado por interações mais fracas entre o adsorbato e o adsorvente, como as forças de Van der Waals. A eficiência deste método depende de vários fatores, dentre os quais destacam-se: afinidade entre adsorvente e adsorbato, custo, disponibilidade, facilidade de operação, toxicidade, área superficial do adsorvente, temperatura, pH e tempo de contato.<sup>18,19</sup>

Diante do exposto, o objetivo principal deste artigo é fornecer uma revisão sobre a remoção do corante preto de amido 10B do ambiente aquático utilizando o método de adsorção. Um compilado

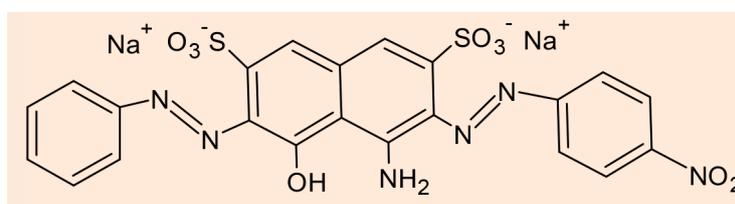


Figura 1. Estrutura do corante preto de amido 10 B

Tabela 1. Características gerais do corante preto de amido 10B

Propriedades	Preto de amido 10B	Referência
Natureza	Corante ácido	[10]
Sinônimos	Azul escuro de naftol, Preto ácido 1	[11]
Fórmula empírica	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub> N <sub>6</sub> Na <sub>2</sub> O <sub>9</sub> S <sub>2</sub>	[1,12]
Massa molar (g mol <sup>-1</sup> )	616,49	[1,12]
Aparência	Azul escuro	[10]
Constante da lei de Henry (atm m <sup>3</sup> mol <sup>-1</sup> )	1,2 x 10 <sup>-31</sup>	[13]
Pressão de vapor (mmHg)	4,8 x 10 <sup>-29</sup>	[13]
Solubilidade (g L <sup>-1</sup> )	10 (25°C)	[12]
λ <sub>(max)</sub>	618 nm	[12,14]

de dados referentes à cinética de adsorção, termodinâmica, modelos isotérmicos, capacidade de adsorção, bem como outros resultados é apresentado aqui. Além disso, o artigo também analisa o efeito do pH, da concentração inicial do corante e dosagem do adsorvente.

## 2. Metodologia

Este artigo foi elaborado utilizando as bases de dados *Web of Science*, *Science Direct* e Google acadêmico, e as seguintes palavras-chaves foram empregadas: *adsorption amido black 10B*, *adsorption acid black 1*, *adsorption naphthol blue black*, *amido black 10B*, *acid black 1*, *naphthol blue black*. Para a pesquisa de artigos no Google acadêmico foram utilizadas as mesmas expressões, porém em português. As buscas foram realizadas no período de junho a outubro de 2020 e a seleção de artigos para a revisão foi feita pela leitura do título, palavras-chave e resumo sem restrição quanto ao ano de publicação e idioma, mas não foram encontrados trabalhos em Português com os termos de busca empregados.

É importante mencionar que muitas referências foram encontradas após a leitura completa de alguns artigos, pois estas não haviam sido localizadas utilizando as expressões já mencionadas. Mesmo sem restrição quanto ao ano de publicação, apenas 3 artigos selecionados são anteriores ao ano de 2010. Adicionalmente, teve-se o cuidado de selecionar artigos com dados mais completos quanto ao processo de adsorção, limitando-se ao máximo de 50 artigos.

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1. Capacidade de adsorção

Diferentes adsorventes com suas capacidades máximas de adsorção foram compilados na tabela 2. É indiscutível que esses materiais apresentam desempenhos muito discrepantes, uma vez que possuem propriedades diferentes. Embora a molécula adsorvida seja a mesma, torna-se difícil fazer um estudo comparativo entre as habilidades de adsorção, pois o desempenho é diretamente afetado pelas propriedades do adsorvente e do adsorbato. Além disso, as

condições experimentais, como pH, temperatura, concentração do adsorbato, dentre outros, também influenciam na eficácia do processo.<sup>20</sup>

Qurrat-Ul-Ain *et al.*<sup>15</sup> avaliaram nanopartículas de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  modificadas com L-Histidina para a remoção do corante preto de amido 10B e obtiveram a capacidade máxima de adsorção em monocamada ( $166,7 \text{ mg g}^{-1}$ ) utilizando dosagem de adsorvente de  $0,2 \text{ g L}^{-1}$ , temperatura de  $30^\circ\text{C}$  e pH 4. Lubis *et al.*<sup>21</sup> estudaram a eficiência da Bentonita ácida e pilarizada com  $\text{TiO}_2$  para a remoção do corante supracitado e determinaram as seguintes condições ótimas: pH 3, concentração inicial de adsorbato de  $25 \text{ mg L}^{-1}$ , dosagem de adsorvente de 0,2 g e temperatura ambiente. Os dados de adsorção de equilíbrio mostraram bom ajuste para a isoterma de Langmuir, com capacidade máxima de adsorção em monocamada de  $1,901 \text{ mg g}^{-1}$ .

Analisando a tabela 2, podemos observar que alguns adsorventes exibem altas capacidades de adsorção, como carbono mesoporoso ordenado modificado ( $769,23 \text{ mg g}^{-1}$ ),<sup>25</sup> aerogel de quitosana porosa dopada com óxido de grafeno ( $573,47 \text{ mg g}^{-1}$ ),<sup>29</sup> hidrogel catiônico ( $1771,0 \text{ mg g}^{-1}$ ),<sup>36</sup> bentonita revestida com quitosana quaternizada ( $847,5 \text{ mg g}^{-1}$ ),<sup>46</sup> compósito bentonita/quitosana quaternizada reticulada ( $990,1 \text{ mg g}^{-1}$ ),<sup>34</sup> casca de abóbora ( $227,62 \text{ mg g}^{-1}$ ),<sup>12</sup> etc. Portanto, esses adsorventes podem ser usados para a remoção do corante preto de amido 10B da água, pois apresentam altas capacidades de adsorção. Por outro lado, alguns adsorventes naturais apresentam capacidade de adsorção muito baixa e, mesmo assim, são considerados promissores.

Os adsorventes naturais, ou biossorventes, são renováveis, disponíveis em grandes quantidades e mais baratos quando comparados com outros materiais, tornando o processo economicamente viável.<sup>14</sup> Nesse contexto, vários pesquisadores têm investigado a remoção do corante azul escuro de naftol usando materiais naturais, como pena de galinha,<sup>8</sup> casca de banana,<sup>35</sup> casca de batata,<sup>31</sup> casca de abóbora,<sup>12</sup> casca de laranja,<sup>35</sup> pó de folha de jaca,<sup>14</sup> pó de semente de *Moringa Oleifera*,<sup>30</sup> macroalgas marrons,<sup>39</sup> concha,<sup>42</sup> etc., como biossorventes de baixo custo.

### 3.2. Efeito do pH

Um parâmetro importante ao investigar a capacidade de adsorção de um corante é o pH da

**Tabela 2.** Comparação das capacidades máximas de adsorção em monocamada  $q_m$  (mg g<sup>-1</sup>) do corante preto de amido 10B em diferentes adsorventes

Adsorvente	Capacidade máxima de adsorção $q_m$ (mg g <sup>-1</sup> )	Referência
Pó de folha de jaca	3,38	[14]
Carvão ativado preparado de pneus velhos	14,51	[22]
Nanocompósito Polianilina/SiO <sub>2</sub>	42,24	[2]
Compósito bentonita/quitosana reticulada carregado com Zr	418,4	[23]
Cinzas volantes ( <i>Fly ash</i> )	18,94	[24]
Bentonita ácida e pilarizada com TiO <sub>2</sub>	1,901	[21]
Carbono mesoporoso ordenado modificado	769,23	[25]
Pena de galinha	88,9	[8]
Nanopartículas magnéticas de óxido de ferro-cobalto funcionalizadas com amina	74,07	[1]
Bentonita modificada por polímero de alilamina	128	[26]
Quitosana reticulada	11,47	[27]
Amino-amido reticulado	990,1	[28]
Aerogel de quitosana porosa dopada com óxido de grafeno	573,47	[29]
Pó de semente de <i>Moringa Oleifera</i>	61,75	[30]
Casca de abóbora	227,62	[12]
Casca de batata	1,79	[31]
Compósito bentonita/quitosana reticulada	323,6	[32]
Compósito polianilina/óxido de ferro	147,1	[33]
Compósito bentonita/quitosana quaternizada reticulada	990,1	[34]
Casca de banana	6,5	[35]
Casca de laranja	7,9	[35]
Hidrogel catiônico	1771,0	[36]
Carvão ativado derivado da pinha	452,9	[37]
Argila clarificante usada modificada com CTAB	100	[38]
Macroalgas marrons	27,2 e 29,6	[39]
Carvão ativado de biomassa de resíduos lignocelulósicos (Flor de Palmeira)	3,8	[40]
Canas de linho modificadas com CTAB	179,6	[41]
Nanoprtículas de Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> modificadas com L-Histidina	166,7	[15]
Concha de <i>Cerastoderma lamarchi</i>	15,88	[42]
Zeólito X obtido a partir de cinzas volantes	1,3678	[43]
Híbrido de feldspato/dióxido de titânio/quitosana	76,92	[44]
Carbono mesoporoso	267	[45]
Bentonita revestida com quitosana quaternizada	847,5	[46]
Zeólito clinoptilolita	0,0112	[47]
Nanopolianilina	142,85	[5]

solução. A variação do pH pode influenciar a carga superficial e o grau de ionização dos adsorventes. Sabe-se que a carga superficial do adsorvente afeta o desempenho do processo de adsorção, sendo o ponto de carga zero (pH<sub>zpc</sub>) um parâmetro importante para entender o mecanismo e a favorabilidade desse processo. O valor de pH<sub>zpc</sub>

indica o tipo de sítios ativos e a capacidade de adsorção dos adsorventes. Quando o pH empregado no processo de adsorção for igual ao pH<sub>zpc</sub> a superfície do material adsorvente é neutra.<sup>48</sup> Quando o pH > pH<sub>zpc</sub>, sugere-se que a superfície do adsorvente está carregada negativamente, logo a adsorção de corantes catiônicos torna-se mais

favorável. Por outro lado, a adsorção de corantes aniônicos é mais favorável em  $\text{pH} < \text{pH}_{\text{ZPC}}$  porque as superfícies dos adsorventes tornam-se carregadas positivamente.<sup>19,20</sup>

De um modo geral, em pH baixo, a porcentagem de remoção de um corante aniônico aumenta devido à atração eletrostática entre a carga superficial positiva do adsorvente e a carga negativa do corante, enquanto a porcentagem de remoção de corantes catiônicos diminui. Em contraste, em pH alto, a porcentagem de remoção de corantes aniônicos diminui, e aumenta para corantes catiônicos.<sup>18,20</sup> A Tabela 3 mostra o efeito do aumento do pH no processo de adsorção do corante preto de amido 10B, um corante aniônico em vários adsorventes. Como esperado, a porcentagem de remoção diminui à medida que o pH aumenta.

Considerando o efeito do pH, Peng *et al.*<sup>25</sup> estudaram a adsorção do corante preto de

amido 10B em carbono mesoporoso ordenado modificado utilizando soluções com diferentes valores de pH (2, 4, 6, 8, 10, 12). Os resultados mostraram que a capacidade máxima de adsorção foi observada em pH 2, devido ao fato de o adsorbato ser um corante aniônico ácido. Como já mencionado, quando o  $\text{pH} < \text{pH}_{\text{ZPC}}$ , a superfície do adsorvente torna-se carregada positivamente. Nesse sentido, mais prótons estão disponíveis em pH mais baixo, aumentando assim a atração eletrostática entre a molécula e os sítios de adsorção carregados positivamente, causando um aumento na capacidade de adsorção do corante. Com o aumento gradual no pH da solução, quando  $\text{pH} > \text{pH}_{\text{ZPC}}$ , a eficiência de remoção diminuiu, o que foi atribuído ao aumento de grupos  $\text{OH}^-$ , além da repulsão eletrostática entre o adsorvente carregado negativamente e as moléculas do corante aniônico.

Wang *et al.*<sup>29</sup> avaliaram o efeito do pH na adsorção do azul escuro de naftol em aerogel

**Tabela 3.** Efeito do pH da solução na adsorção do corante preto de amido 10B por diferentes adsorventes

Adsorvente	Intervalo de pH investigado	Comportamento da porcentagem de remoção	Referência
Pó de folha de jaca	2-12	Diminuiu	[14]
Carvão ativado preparado de pneus velhos	3-11	Diminuiu	[22]
Nanocompósito Polianilina/SiO <sub>2</sub>	2-10	Diminuiu	[2]
Compósito bentonita/quitosana reticulada carregado com Zr	2-8	Diminuiu	[23]
Cinzas volantes ( <i>Fly ash</i> )	2-12	Diminuiu	[24]
Bentonita ácida e pilarizada com TiO <sub>2</sub>	3-11	Diminuiu	[21]
Carbono mesoporoso ordenado modificado	2-12	Diminuiu	[25]
Pena de galinha	2-9	Diminuiu	[8]
Bentonita modificada por polímero de alilamina	2-9	Diminuiu	[26]
Amino-amido reticulado	2-9	Diminuiu	[28]
Aerogel de quitosana porosa dopada com óxido de grafeno	4-12	Diminuiu	[29]
Pó de semente de <i>Moringa Oleifera</i>	2-10	Diminuiu	[30]
Casca de abóbora	1-9	Diminuiu	[12]
Casca de batata	2-11	Diminuiu	[31]
Compósito polianilina/óxido de ferro	2-10	Diminuiu	[33]
Compósito bentonita/quitosana quaternizada reticulada	2-12	Diminuiu	[34]
Hidrogel catiônico	3-10	Diminuiu	[36]
Macroalgas marrons	2-10	Diminuiu	[39]
Canas de linho modificadas com CTAB	2-11	Diminuiu	[41]
Nanoprtículas de Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> modificadas com L-Histidina	3-9	Diminuiu	[15]
Concha de <i>Cerastoderma lamarchi</i>	2-11	Diminuiu	[42]
Zeólito X obtido a partir de cinzas volantes	2-12	Diminuiu	[43]
Zeólito clinoptilolita	2-11	Diminuiu	[47]
Nanopolianilina	2-10	Diminuiu	[5]

de quitosana porosa dopada com óxido de grafeno em diferentes valores de pH. Os autores observaram que a capacidade de adsorção do aerogel diminuiu com o aumento nos valores de pH, sendo a capacidade máxima obtida em pH 4. Em pH mais baixo, os grupos amino da quitosana tornam-se protonados e a atração eletrostática entre esses grupos e o corante aniônico pode contribuir para a adsorção.

### 3.3. Efeito da concentração inicial do corante e da dosagem de adsorvente

A eficiência de remoção do corante, geralmente, depende da relação entre a sua concentração inicial e os sítios disponíveis na superfície do adsorvente.<sup>20</sup> Em geral, a porcentagem de remoção (equação 1) de corante diminui com um aumento na concentração de corante, que pode ser devido à saturação dos sítios de adsorção na superfície do adsorvente. Por

outro lado, o aumento na concentração inicial de corante promove um aumento na capacidade de adsorção ((q) equação 2)) e isso pode ser devido à alta força motriz para a transferência de massa em uma alta concentração inicial de corante.<sup>19</sup>

Sun *et al.*<sup>24</sup> avaliaram a remoção do corante preto de amido 10 B em cinzas volantes (*fly ash*) variando a concentração inicial do corante de 30-500 mg L<sup>-1</sup> (Tabela 4). Os autores observaram que a eficiência de remoção do corante atingiu aproximadamente 95 % na concentração mais baixa, reduzindo para menos de 55 % na concentração mais alta. A maior porcentagem de remoção em concentração mais baixa se deve a maior disponibilidade de sítios de adsorção não ocupados nos adsorventes. Em contraste, a capacidade de adsorção aumentou de 4,46 para 18,73 mg g<sup>-1</sup> com o aumento da concentração, o que pode ser atribuído ao aumento na força motriz do gradiente de concentração com um aumento na concentração inicial de corante.

**Tabela 4.** Efeito da concentração inicial da solução do corante e da dosagem do adsorvente na remoção de preto de amido 10B

Adsorvente	Varição da Concentração inicial do corante/ remoção (%) com a variação	Varição da Dosagem do adsorvente/remoção (%) com a variação	Referência
Pó de folha de jaca	5,0-50(mg L <sup>-1</sup> )/ diminuiu	2,5-30 (g L <sup>-1</sup> )/ aumentou	[14]
Nanocompósito Polianilina/SiO <sub>2</sub>	30-90(mg L <sup>-1</sup> )/ diminuiu	0,02-0,1(g 50 mL <sup>-1</sup> )/ aumentou	[2]
Compósito bentonita/quitosana reticulada carregado com Zr	NI*	0,01-0,149(g)/ aumentou	[23]
Cinzas volantes ( <i>Fly ash</i> )	30-500(mg L <sup>-1</sup> )/ diminuiu	NI	[24]
Pó de semente de <i>Moringa Oleifera</i>	NI	0,5-2,5(g L <sup>-1</sup> )/ aumentou	[30]
Casca de batata	50-400(mg L <sup>-1</sup> )/diminuiu	0,2-1,0(g L <sup>-1</sup> )/ aumentou	[31]
Compósito bentonita/quitosana reticulada	100-400(mg L <sup>-1</sup> )/diminuiu	0,01-0,06(g)/ aumentou	[32]
Compósito bentonita/quitosana quaternizada reticulada	NI	0,003-0,05(g)/ aumentou	[34]
Hidrogel catiônico	25-250(mg L <sup>-1</sup> )/diminuiu	NI	[36]
Macroalgas marrons	NI	1,0-9,0(g L <sup>-1</sup> )/ aumentou	[39]
Carvão ativado de biomassa de resíduos lignocelulósicos (Flor de Palmeira)	1,0-1000(mg L <sup>-1</sup> )/diminuiu	0,001-0,5(g 10 mL <sup>-1</sup> ) aumentou	[40]
Canas de linho modificadas com CTAB	NI	0,5-3,0(g L <sup>-1</sup> )/ aumentou	[41]
Concha de <i>Cerastoderma lamarchi</i>	50-250(mg L <sup>-1</sup> )/diminuiu	2,0-20,0(g L <sup>-1</sup> )/ aumentou	[42]
Zéolito X obtido a partir de cinzas volantes	5,0-50(mg L <sup>-1</sup> )/diminuiu	2,0-15,0(g L <sup>-1</sup> )/ aumentou	[43]
Híbrido de feldspato/dióxido de titânio/quitosana	NI	0,2-1,2(g L <sup>-1</sup> )/ aumentou	[44]
Bentonita revestida com quitosana quaternizada	200-500(mg L <sup>-1</sup> )/diminuiu	0,005-0,03(g)/ aumentou	[46]
Zéolito clinoptilolita	5,0-40(mg L <sup>-1</sup> )/diminuiu	10-160(mg L <sup>-1</sup> )/ aumentou	[47]
Nanopolianilina	NI	0,02-0,2(g 50 mL <sup>-1</sup> )/ aumentou	[5]

\*NI (Dados não investigados ou resultados fornecidos apenas para a capacidade de adsorção).

Outro parâmetro importante a ser analisado na eficiência de remoção é a dosagem de adsorvente. Geralmente, a porcentagem de remoção do corante aumenta com o aumento da dosagem do adsorvente, uma vez que há mais sítios de adsorção disponíveis.<sup>19</sup> A Tabela 4 mostra o efeito da concentração inicial da solução do corante e da dosagem do adsorvente na remoção de preto de amido 10B em vários adsorventes. Como esperado, o percentual de remoção diminui com o aumento da concentração do corante, e aumenta com o aumento da dosagem do adsorvente.

O efeito da concentração do híbrido de feldspato/dióxido de titânio/quitosana na adsorção do azul escuro de naftol foi investigado por Arami e colaboradores.<sup>44</sup> Como previsto, a porcentagem de remoção do corante aumentou e a capacidade de adsorção diminuiu conforme o aumento da dosagem do adsorvente. Para um aumento de 0,2 para 1,2 g L<sup>-1</sup> na concentração do híbrido, a porcentagem de remoção aumentou de 33 para 75 %, enquanto a capacidade de adsorção diminuiu de 83 para 31 mg g<sup>-1</sup>. O aumento no percentual de remoção se deve a disponibilidade de mais sítios de sorção com o aumento da massa, enquanto a redução da capacidade de adsorção foi devida ao gradiente de concentração entre as moléculas de corante com o aumento da dosagem de adsorvente, o que resultou em uma diminuição de corante adsorvido por unidade de massa do adsorvente. Adicionalmente, a alta dosagem de adsorvente pode favorecer a agregação de partículas levando a redução na sua área de superfície total e, conseqüentemente, na redução de q.

A relação entre a capacidade de adsorção, concentração de corante e dosagem de adsorvente fornece informações importantes do ponto de vista experimental e econômico, o que pode contribuir para minimizar desperdícios e também para aumentar a eficiência do processo.

### 3.4. Estudos cinéticos, isotérmicos de adsorção e termodinâmicos

A cinética de adsorção é um parâmetro significativo para esquematizar o processo de adsorção, sendo essencial para selecionar as condições operacionais ideais para a interação adsorvente-adsorbato e para aplicação em escala real.<sup>18,41,49</sup> Os resultados dos estudos cinéticos dos artigos revisados (Tabela 5) mostram que o modelo cinético de pseudo segunda-ordem<sup>2,14,22,24,30</sup> é o

que mais se adequa aos dados experimentais em comparação com outros modelos; em alguns artigos, os modelos de pseudo primeira-ordem,<sup>43</sup> difusão intrapartícula<sup>36</sup> e logístico<sup>12</sup> apresentaram melhores adequações aos dados experimentais.

Zhang *et al.*<sup>34</sup> ajustaram os dados experimentais para os modelos cinéticos de pseudo primeira-ordem e pseudo segunda-ordem a fim de entenderem a dinâmica do processo de adsorção para a remoção do preto de amido 10B usando o composto bentonita/quitosana quaternizada reticulada. O coeficiente de correlação do modelo cinético de pseudo segunda-ordem foi relativamente maior do que o modelo de pseudo primeira-ordem. Conseqüentemente a adsorção do corante pode ser descrita mais adequadamente pelo modelo de pseudo segunda-ordem. Esse resultado indica que ocorreu adsorção química, envolvendo compartilhamento ou troca de elétrons entre as moléculas do corante e do adsorvente.<sup>5,18</sup> De fato, o calor de adsorção de aproximadamente 30 kJ mol<sup>-1</sup>,<sup>34</sup> confirma que ocorreu quimissorção.

Os modelos isotérmicos de adsorção, ferramentas importantes para estudar comportamentos e mecanismos<sup>18</sup> de adsorção, podem refletir a interação entre adsorventes e adsorbatos e estimar a capacidade máxima de adsorção.<sup>20,46</sup> Os resultados dos estudos isotérmicos dos artigos revisados (Tabela 5) mostram que os modelos de Langmuir<sup>46,41,42</sup> e Freundlich<sup>22,24</sup> foram os mais adequados; o modelo de Redlich-Peterson<sup>2</sup> também foi observado. O modelo de Langmuir presume que as moléculas adsorvidas na superfície do adsorvente formam uma monocamada, têm energia equivalente e não interagem entre si,<sup>23</sup> ao contrário do modelo de Freundlich, que admite adsorção em multicamadas.<sup>20</sup>

Yazdani *et al.*<sup>44</sup> removeram o preto de amido 10B usando o híbrido de feldspato/dióxido de titânio/quitosana, sendo os modelos de Langmuir e Freundlich aplicados aos dados experimentais. Os resultados indicam que os dados de equilíbrio de adsorção se ajustam melhor ao modelo de Freundlich do que ao modelo de Langmuir, o que pode ter ocorrido devido à distribuição heterogênea de sítios ativos na superfície do adsorvente, como assume a isoterma de Freundlich. Em contraste, os dados de adsorção do mesmo corante em Bentonita modificada por polímero de alilamina se ajustaram melhor ao modelo de Lagmuir, sugerindo uma adsorção em monocamada.<sup>26</sup>

O efeito da temperatura é outro parâmetro físico-químico significativo porque altera a capacidade

**Tabela 5.** Comparação dos estudos cinéticos, isotérmicos de adsorção e termodinâmicos do corante preto de amido 10B usando vários adsorventes

Adsorvente	Modelo cinético	Modelo de isoterma	Temperatura (°C)/ tipo de processo	Ref
Pó de folha de jaca	Pseudo segunda-ordem	Freundlich	20-60/ exotérmico	[14]
Carvão ativado preparado de pneus velhos	Pseudo segunda-ordem	Langmuir	25/ -	[22]
Nanocompósito Polianilina/SiO <sub>2</sub>	Pseudo segunda-ordem	Redlich-Peterson	20-62/ endotérmico	[2]
Cinzas volantes (Fly ash)	Pseudo segunda-ordem	Freundlich	20 e 40/ endotérmico	[24]
Bentonita ácida e pilarizada com TiO <sub>2</sub>	-	Langmuir	Temp. ambiente/ -	[21]
Nanopartículas magnéticas de óxido de ferro-cobalto funcionalizadas com amina	Pseudo segunda-ordem	Langmuir	30-90/ exotérmico	[1]
Pó de semente de Moringa Oleifera	Pseudo segunda-ordem	Langmuir	25/ -	[30]
Casca de abóbora	Logístico	Freundlich	25-45/ exotérmico	[12]
Casca de batata	Pseudo segunda-ordem	Langmuir	25/ -	[31]
Compósito bentonita/quitosana reticulada	Pseudo segunda-ordem	Langmuir	20-40/ endotérmico	[32]
Compósito polianilina/óxido de ferro	Pseudo segunda-ordem	Freundlich	30-50/ endotérmico	[33]
Compósito bentonita/quitosana quaternizada reticulada	Pseudo segunda-ordem	Langmuir	25-45/ endotérmico	[34]
Hidrogel catiônico	Pseudo segunda-ordem e difusão intrapartícula	Langmuir	30-50/ endotérmico	[36]
Argila clarificante usada modificada com CTAB	Pseudo segunda-ordem	Langmuir	30-60/ exotérmico	[38]
Macroalgas marrons	Pseudo segunda-ordem	Freundlich	10-40/ endotérmico	[39]
Carvão ativado de biomassa de resíduos lignocelulósicos (Flor de Palmeira)	Pseudo segunda-ordem	Freundlich	20-40/ endotérmico	[40]
Canas de linho modificadas com CTAB	Pseudo segunda-ordem	Langmuir	20-40/ endotérmico	[41]
Nanoprtículas de Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> modificadas com L-Histidina	Pseudo segunda-ordem	Langmuir	30-80/ exotérmico	[15]
Concha de Cerastoderma lamarchi	Pseudo segunda-ordem	Langmuir	25/ -	[42]
Zeólito X obtido a partir de cinzas volantes	Pseudo primeira-ordem	Freundlich	20-60/ exotérmico	[43]
Híbrido de feldspato/dióxido de titânio/quitosana	Pseudo segunda-ordem	Freundlich	25-45/ exotérmico	[44]
Bentonita revestida com quitosana quaternizada	Pseudo segunda-ordem	Langmuir	25-45/ endotérmico	[46]

de adsorção do adsorvente.<sup>19</sup> Se a capacidade de adsorção aumentar com o aumento da temperatura, a adsorção é um processo endotérmico. Isso pode ser devido ao aumento da mobilidade das moléculas de corante e um aumento no número de sítios ativos do adsorvente.<sup>20</sup> Por outro lado, a diminuição da capacidade de adsorção com o aumento da temperatura indica que a adsorção é um processo exotérmico, e a possível razão é que esse aumento diminui as forças adsorptivas entre as moléculas do corante e os sítios ativos do adsorvente, resultando na diminuição da capacidade de adsorção.<sup>20</sup>

Adicionalmente, o estudo termodinâmico do processo de adsorção é útil para estabelecer a natureza e a possibilidade da reação. Diferentes fatores termodinâmicos que compreendem mudança de entalpia padrão ( $\Delta H^\circ$ ), mudança de entropia padrão ( $\Delta S^\circ$ ) e mudança de energia livre

de Gibbs padrão ( $\Delta G^\circ$ ) de adsorção podem ser calculados a partir da temperatura e procedimento de sorção.<sup>18</sup> A Tabela 5 mostra o compilado dos resultados de vários estudos sobre o efeito da temperatura na adsorção do corante preto de amido 10B por vários adsorventes.

O estudo termodinâmico da adsorção do corante mencionado no compósito polianilina/óxido de ferro indicou a viabilidade e espontaneidade do processo, uma vez que os valores negativos de  $\Delta G^\circ$  (1,233; 4,15; 7,389) kJ mol<sup>-1</sup> aumentaram com o aumento da temperatura (30, 40 e 50°C, respectivamente). A natureza endotérmica do processo de adsorção foi confirmada pelo valor positivo de  $\Delta H^\circ$  (8,953 kJ mol<sup>-1</sup>), enquanto o valor positivo de  $\Delta S^\circ$  (249,6 J mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>) revelou o aumento da aleatoriedade na interface sólido/solução durante o processo de adsorção.<sup>33</sup>

## 4. Conclusão

Este artigo de revisão fornece informações gerais sobre a remoção adsorptiva do corante preto de amido 10B do ambiente aquático utilizando diferentes adsorventes, tais como cascas de frutas, pena de galinha, concha, carvão ativado, biopolímero, argila, zeólito, materiais sólidos industriais e adsorventes diversos. A eficácia do processo de adsorção foi discutida com base nas condições experimentais, incluindo efeito do pH, efeito da concentração inicial do corante e da dosagem de adsorvente, estudos cinéticos, isotérmicos de adsorção e termodinâmicos. A partir da literatura revisada, conclui-se que a capacidade máxima de adsorção desses materiais é dependente das condições experimentais e a utilização dos biossorventes, uma alternativa econômica e viável. Os resultados também revelam que o pH favorece a adsorção e que o percentual de remoção diminui com o aumento da concentração do corante, e aumenta com o aumento da dosagem do adsorvente. Adicionalmente, este artigo também revela que os modelos de isoterma de adsorção de Langmuir e Freundlich são geralmente usados para avaliar a capacidade de adsorção, e os dados seguem o modelo cinético de pseudo segunda ordem. De forma geral, os artigos fornecem informações relevantes quanto ao processo de adsorção, mostrando que esse processo é eficaz e viável para o tratamento de água contaminada com corante, sendo possível utilizar diferentes materiais adsorventes. No entanto, mais estudos de regeneração e análise de custos são necessários.

### Referências Bibliográficas

<sup>1</sup> Qurrat-Ul-Ain; Khurshid, S.; Gul, Z.; Khatoon, J.; Shah, M. R.; Hamid, I.; Khan, I. A. T.; Aslam, F. Anionic azo dyes removal from water using amine-functionalized cobalt-iron oxide nanoparticles: A comparative time-dependent study and structural optimization towards the removal mechanism. *RSC Advances* **2020**, *10*, 1021. [CrossRef]

<sup>2</sup> Tanzifi, M.; Yarak, M. T.; Kiadehi, A. D.; Hosseini, S. H.; Olazar, M.; Bhati, A. K.; Agarwal, S.; Gupta, V. K.; Kazemi, A. Adsorption of Amido Black 10B from aqueous solution using polyaniline/SiO<sub>2</sub> nanocomposite: Experimental investigation and artificial neural network modeling. *Journal of Colloid and Interface Science* **2018**, *510*, 246. [CrossRef]

<sup>3</sup> Cui, Y.; Zhang, X.; Zhang, H.; Cheng, Q.; Cheng, X. Construction of BiO<sub>2</sub>/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> composite photocatalyst and its enhanced visible light photocatalytic degradation of amido black 10B. *Separation and Purification Technology* **2019**, *210*, 125. [CrossRef]

<sup>4</sup> Kojima, T.; Yamada, H.; Yamamoto, T.; Matsushita, Y.; Fukushima, K. Dyeing regions of oxidative hair dyes in human hair investigated by nanoscale secondary ion mass spectrometry. *Colloids Surfaces B Biointerfaces* **2013**, *106*, 140. [CrossRef]

<sup>5</sup> Tanzifi, M.; Mansouri, M.; Heidarzadeh, M.; Gheibi, K. Study of the Adsorption of Amido Black 10B Dye from Aqueous Solution Using Polyaniline Nano-adsorbent: Kinetic and Isotherm Studies. *J. Water Environ. Nanotechnol. Journal of Water and Environmental Nanotechnology* **2016**, *1*, 124. [CrossRef].

<sup>6</sup> Kirupavasam, E. K.; Allen, G.; Raj, G. Photocatalytic Degradation of Amido black-10B Catalyzed by Carbon Doped TiO<sub>2</sub> Photocatalyst. *International Journal of Green Chemistry and Bioprocess* **2012**, *2*, 20.

<sup>7</sup> Govindan, K.; Chandran, H. T.; Raja, M.; Maheswari, S. U.; Rangarajan, M. Electron scavenger-assisted photocatalytic degradation of amido black 10B dye with Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanotubes: A response surface methodology study with central composite design. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* **2017**, *341*, 146. [CrossRef]

<sup>8</sup> Mittal, A.; Thakur, V.; Gajbe, V. Adsorptive removal of toxic azo dye Amido Black 10B by hen feather. *Environmental Science and Pollution Research* **2013**, *20*, 260. [CrossRef] [PubMed]

<sup>9</sup> Carvalho da Cruz Brambilla, C. M.; Hilario Garcia, A. L.; Rabaioli da Silva, F.; Taffarel, S. R.; Grivicich, I.; Picada, J. N.; Scotti, A.; Dalberto, D.; Mišák, M.; Knasmüller, S.; da Silva, J. Amido Black 10B a widely used azo dye causes DNA damage in pro- and eukaryotic indicator cells. *Chemosphere* **2019**, *217*, 430. [CrossRef] [PubMed]

<sup>10</sup> Pandey, N.; Thakur, C.; Saluja, S.; Ghosh, P. Modeling and optimization data analysis on photocatalytic decolorization of amido black 10B using ZnO catalyst. *Data in Brief* **2019**, *25*, 104106. [CrossRef]

<sup>11</sup> Angelova, R.; Baldikova, E.; Pospiskova, K.; Safarikova, M.; Safarik, I. Magnetically modified sheaths of *Leptothrix* sp. as an adsorbent for Amido black 10B removal. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* **2017**, *427*, 314. [CrossRef]

<sup>12</sup> Çelekli, A.; Küçükgüner, B.; Bozkurt, H. Diazo dye sorption by Ni-modified pumpkin husk. *Desalination and Water Treatment* **2016**, *57*, 25242. [CrossRef]

- <sup>13</sup> Dalhatou, S.; Laminsi, S.; Pétrier, C.; Baup, S. Competition in sonochemical degradation of Naphthol Blue Black: Presence of an organic (nonylphenol) and a mineral (bicarbonate ions) matrix. *Journal of Environmental Chemical Engineering* **2019**, *7*, 102819. [CrossRef]
- <sup>14</sup> Ojha, A. K.; Bulasara, V. K. Adsorption Characteristics of Jackfruit Leaf Powder for the Removal of Amido Black 10B Dye. *Environmental Progress & Sustainable Energy* **2015**, *34*, 461. [CrossRef] [PubMed]
- <sup>15</sup> Qurrat-Ul-Ain; Khatoun, J.; Shah, M. R.; Malik, M. I.; Khan, I. A. T.; Khurshid, S.; Naz, R. Convenient pH-responsive removal of Acid Black 1 by green l-histidine/iron oxide magnetic nanoadsorbent from water: Performance and mechanistic studies. *RSC Advances* **2019**, *9*, 2978. [CrossRef]
- <sup>16</sup> Halal, J.; *Tricologia e a Química Cosmética Capilar*, Tradução da 5ª ed. norte-americana, Cengage Learning: Massachusetts, 2016.
- <sup>17</sup> Priya, B.; Raizada, P.; Singh, N.; Thakur, P.; Singh, P. Adsorptional photocatalytic mineralization of oxytetracycline and ampicillin antibiotics using Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/BiOCl supported on graphene sand composite and chitosan. *Journal of Colloid and Interface Science* **2016**, *479*, 271. [CrossRef]
- <sup>18</sup> Kausar, A.; Iqbal, M.; Javed, A.; Aftab, K.; Nazli, Z.-H.; Bhatti, H. N.; Nouren, S. Dyes adsorption using clay and modified clay: A review. *Journal of Molecular Liquids* **2018**, *256*, 395. [CrossRef]
- <sup>19</sup> Yagub, M. T.; Sen, T. K.; Afroze, S.; Ang, H. M. Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review. *Advances in Colloid and Interface Science* **2014**, *209*, 172. [CrossRef] [PubMed]
- <sup>20</sup> Zhou, Y.; Lu, J.; Zhou, Y.; Liu, Y. Recent advances for dyes removal using novel adsorbents: A review. *Environmental Pollution* **2019**, *252*, 352. [CrossRef] [PubMed]
- <sup>21</sup> Lubis, S.; Sheilatina, S.; Nika, S.; Putra, V. Adsorption of Naphthol Blue Black Dye onto Acid Activated Titania Pillared Bentonite: Equilibrium Study. *Oriental Journal of Chemistry* **2016**, *32*, 1789. [CrossRef]
- <sup>22</sup> Hoseinzadeh, E.; Rahmanie, A. R.; Asgari, G.; McKay, G.; Dehghanian, A. R. Adsorption of acid black 1 by using activated carbon prepared from scrap tires: Kinetic and equilibrium studies. *Journal of Scientific and Industrial Research* **2012**, *71*, 682. [Link]
- <sup>23</sup> Zhang, L.; Hu, P.; Wang, J.; Huang, R. Adsorption of Amido Black 10B from aqueous solutions onto Zr (IV) surface-immobilized cross-linked chitosan/bentonite composite. *Applied Surface Science* **2016**, *369*, 558. [CrossRef]
- <sup>24</sup> Sun, D.; Zhang, X.; Wu, Y.; Liu, X. Adsorption of anionic dyes from aqueous solution on fly ash. *Journal of Hazardous Materials* **2010**, *181*, 335. [CrossRef] [PubMed]
- <sup>25</sup> Peng, X.; Hu, X.; Fu, D.; Lam, F. L. Y. Adsorption removal of acid black 1 from aqueous solution using ordered mesoporous carbon. *Applied Surface Science* **2014**, *294*, 71. [CrossRef]
- <sup>26</sup> Guo, W.; Xia, T.; Pei, M.; Du, Y.; Wang, L. Bentonite modified by allylamine polymer for adsorption of amido black 10B. *Polymers* **2019**, *11*, 502. [CrossRef]
- <sup>27</sup> Yang, B.; Huang, R.; Liu, Q. Adsorption of Amido Black 10 B onto cross-linked chitosan. *Research Journal of Chemical and Environmental* **2012**, *16*, 110. [Link]
- <sup>28</sup> Cheng, R.; Jiang, Z.; Ou, S.; Li, Y.; Xiang, B. Investigation of acid black 1 adsorption onto amino-polysaccharides. *Polymer Bulletin* **2009**, *62*, 69. [CrossRef]
- <sup>29</sup> Wang, Y.; Xia, G.; Wu, C.; Sun, J.; Song, R.; Huang, W. Porous chitosan doped with graphene oxide as highly effective adsorbent for methyl orange and amido black 10B. *Carbohydrate Polymers* **2015**, *115*, 686. [CrossRef] [PubMed]
- <sup>30</sup> Shirani, Z.; Santhosh, C.; Iqbal, J.; Bhatnagar, A. Waste Moringa oleifera seed pods as green sorbent for efficient removal of toxic aquatic pollutants. *Journal of Environmental Management* **2018**, *227*, 95. [CrossRef] [PubMed]
- <sup>31</sup> Hoseinzadeh, E.; Samarghandi, M. R.; McKay, G.; Rahimi, N.; Jafari, J. Removal of acid dyes from aqueous solution using potato peel waste biomass: A kinetic and equilibrium study. *Desalination and Water Treatment* **2014**, *52*, 4999. [CrossRef]
- <sup>32</sup> Liu, Q.; Yang, B.; Zhang, L.; Huang, R. Adsorption of an anionic azo dye by cross-linked chitosan/bentonite composite. *International Journal of Biological Macromolecules* **2015**, *72*, 1129. [CrossRef] [PubMed]
- <sup>33</sup> Ahmad, R.; Kumar, R. Conducting polyaniline/iron oxide composite: A novel adsorbent for the removal of amido black 10b. *Journal of Chemical & Engineering Data* **2010**, *55*, 3489. [CrossRef]
- <sup>34</sup> Zhang, L.; Hu, P.; Wang, J.; Huang, R. Crosslinked quaternized chitosan/bentonite composite for the removal of Amido black 10B from aqueous solutions. *International Journal of Biological Macromolecules* **2016**, *93*, 217. [CrossRef] [PubMed]
- <sup>35</sup> Annadurai, G.; Juang, R. S.; Lee, D. J. Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials* **2002**, *92*, 263. [CrossRef]

- <sup>36</sup> Fang, R.; He, W.; Xue, H.; Chen, W. Synthesis and characterization of a high-capacity cationic hydrogel adsorbent and its application in the removal of Acid Black 1 from aqueous solution. *Reactive and Functional Polymers* **2016**, *102*, 1. [[CrossRef](#)]
- <sup>37</sup> Hadi, M.; Samarghandi, M. R.; McKay, G. Equilibrium two-parameter isotherms of acid dyes sorption by activated carbons: Study of residual errors. *Chemical Engineering Journal* **2010**, *160*, 408. [[CrossRef](#)]
- <sup>38</sup> Mana, M.; Ouali, M. S.; de Menorval, L. C.; Zajac, J. J.; Charnay, C. Regeneration of spent bleaching earth by treatment with cethyltrimethylammonium bromide for application in elimination of acid dye. *Chemical Engineering Journal* **2011**, *174*, 275. [[CrossRef](#)]
- <sup>39</sup> Daneshvar, E.; Kousha, M.; Jokar, M.; Koutahzadeh, N.; Guibal, E. Acidic dye biosorption onto marine brown macroalgae: Isotherms, kinetic and thermodynamic studies. *Chemical Engineering Journal* **2012**, *204–206*, 225. [[CrossRef](#)]
- <sup>40</sup> Nethaji, S.; Sivasamy, A. Adsorptive removal of an acid dye by lignocellulosic waste biomass activated carbon: Equilibrium and kinetic studies. *Chemosphere* **2011**, *82*, 1367. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- <sup>41</sup> Wang, W.; Huang, G.; An, C.; Xin, X.; Zhang, Y.; Liu, X. Transport behaviors of anionic azo dyes at interface between surfactant-modified flax shives and aqueous solution: Synchrotron infrared and adsorption studies. *Applied Surface Science* **2017**, *405*, 119. [[CrossRef](#)]
- <sup>42</sup> Najafi Saleh, H.; Dehghani, M. H.; Nabizadeh, R.; Mahvi, A. H.; yaghmaeian, kamyar; Hossein, F.; Ghaderpoori, M.; Yousefi, M.; Mohammadi, A. Data on the acid black 1 dye adsorption from aqueous solutions by low-cost adsorbent- *Cerastoderma lamarcki* shell collected from the northern coast of Caspian Sea. *Data in Brief* **2018**, *17*, 774. [[CrossRef](#)]
- <sup>43</sup> Garg, A.; Mainrai, M.; Bulasara, V. K.; Barman, S. Experimental investigation on adsorption of amido black 10b dye onto zeolite synthesized from fly ash. *Chemical Engineering Communications* **2015**, *202*, 123. [[CrossRef](#)]
- <sup>44</sup> Yazdani, M.; Bahrami, H.; Arami, M. Feldspar/titanium dioxide/chitosan as a biophotocatalyst hybrid for the removal of organic dyes from aquatic phases. *Journal of Applied Polymer Science* **2014**, *131*, 1. [[CrossRef](#)]
- <sup>45</sup> Galán, J.; Rodríguez, A.; Gómez, J. M.; Allen, S. J.; Walker, G. M. Reactive dye adsorption onto a novel mesoporous carbon. *Chemical Engineering Journal* **2013**, *219*, 62. [[CrossRef](#)]
- <sup>46</sup> Hu, P.; Wang, J.; Huang, R. Simultaneous removal of Cr(VI) and Amido black 10B (AB10B) from aqueous solutions using quaternized chitosan coated bentonite. *International Journal of Biological Macromolecules* **2016**, *92*, 694. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- <sup>47</sup> Qiu, M.; Qian, C.; Xu, J.; Wu, J.; Wang, G. Studies on the adsorption of dyes into clinoptilolite. *Desalination* **2009**, *243*, 286. [[CrossRef](#)]
- <sup>48</sup> Vasques, A. R.; de Souza, S. M. A. G. U.; Weissenberg, L.; de Souza, A. A. U.; Valle, J. A. B. Adsorção dos corantes RO16, RR2 e RR141 utilizando lodo residual da indústria têxtil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* **2011**, *16*, 245. [[CrossRef](#)]
- <sup>49</sup> Öztürk, A.; Malkoc, E. Adsorptive potential of cationic Basic Yellow 2 (BY2) dye onto natural untreated clay (NUC) from aqueous phase: Mass transfer analysis, kinetic and equilibrium profile. *Applied Surface Science* **2014**, *299*, 105. [[CrossRef](#)]