

## Removal of dyes from aqueous solution and effluents from textile industries through adsorption on human hair

## Remoção de corantes de solução aquosa e de efluentes de indústrias têxteis por meio de adsorção em cabelo humano

Article Info:

Article history: Received 2022-03-03/ Accepted 2022-06-07 / Available online 2022-06-09

doi: 10.18540/jcecv18iss3pp14053-01e

**Odilaine Inácio de Carvalho Damasceno**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2903-862X>

Universidade Federal de Viçosa, Brasil

E-mail: [odilainecd@yahoo.com.br](mailto:odilainecd@yahoo.com.br)

**César Reis**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4783-9634>

Universidade Federal de Viçosa, Brasil

E-mail: [cesareis@gmail.com](mailto:cesareis@gmail.com)

**Efraim Lázaro Reis**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4285-8892>

Universidade Federal de Viçosa, Brasil

E-mail: [efraimreis@gmail.com](mailto:efraimreis@gmail.com)

**Alexsandro Antônio Matias**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1078-1846>

Universidade Federal de Viçosa, Brasil

E-mail: [alexsandroufv@gmail.com](mailto:alexsandroufv@gmail.com)

### Resumo

Foi avaliada a eficiência da remoção dos corantes Direct Red 80 e Reactive Blue 21 em solução aquosa e o tratamento de um efluente têxtil coletado na Companhia Industrial Itabira do Campo localizada em Itabirito - MG, por meio da adsorção em cabelo humano. As amostras de cabelo foram higienizadas, pulverizadas e caracterizadas através de espectrofotometria na região do UV-Visível, titulação potenciométrica e microscopia eletrônica de varredura. Os ensaios adsorptivos foram realizados em sistemas de batelada, conduzidos em condições de equilíbrio sendo o modelo de Langmuir ajustado aos dados, obtendo-se para a capacidade máxima de adsorção dos corantes Direct Red 80 e Reactive Blue 21 os valores de 41,22 mg g<sup>-1</sup> e 64,93 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente. A verificação da remoção de cor foi realizada por espectrofotometria na região do UV-Visível. Nas amostras de efluente têxtil houve completa remoção da coloração.

**Palavras-chave:** Corantes Direct Red 89 e Reactive Blue 21. Efluentes têxteis. Cabelo humano.

### Abstract

The efficiency of the removal of Direct Red 80 and Reactive Blue 21 dyes in aqueous solution and the treatment of a textile effluent collected at Companhia Industrial Itabira do Campo located in Itabirito - MG, by means of adsorption on human hair, were evaluated. The hair samples were sanitized, pulverized and characterized by spectrophotometry in the UV-Visible region, potentiometric titration and scanning electron microscopy. The adsorptive tests were carried out in batch systems, carried out under equilibrium conditions, with the Langmuir model being adjusted to the data, obtaining for the maximum adsorption capacity of the Direct Red 80 and Reactive Blue 21 dyes the values of 41.22 mg g<sup>-1</sup> and 64.93 mg g<sup>-1</sup>, respectively. The verification of color removal was performed by spectrophotometry in the UV-Visible region. In the textile effluent samples there was complete removal of the color.

**Keywords:** Direct Red 89 and Reactive Blue 21 dyes. Textile effluents. Human hair.

## 1. Introdução

Os corantes têxteis são usados pelo homem há milhares de anos, sendo sua origem incerta. Sua presença foi confirmada em amostras de tecidos de tumbas egípcias e antigos hieróglifos datados de 2500 A.C. O primeiro passo para a produção de corantes orgânicos sintéticos em grande escala foi dado na segunda metade do século XIX, quando foi sintetizada a malva, primeiro corante sintético, derivado do coque. Até então, só existiam pigmentos naturais (Zanoni & Carneiro, 2001).

As cores sempre exerceram fascínio sobre a humanidade, por isso, é impossível imaginar a indústria têxtil, alimentícia, gráfica e de cosméticos sem corantes. Em virtude da demanda de corantes, aproximadamente 10.000 diferentes tipos de corantes e pigmentos são usados na indústria têxtil, o que representa um consumo anual de cerca de 700 mil toneladas no mundo e 26.500 toneladas somente no Brasil (ABIT, 2020; Al-Tohamy et al., 2022).

No Catálogo da “Society of Dyers and Colourists” estão registrados atualmente mais de 8 mil corantes orgânicos sintéticos associados à indústria têxtil (Zanoni & Carneiro, 2001). Essa diversidade é justificada uma vez que cada tipo de fibra a ser colorida requer corantes específicos com características próprias.

Os corantes utilizados pela indústria têxtil podem ser classificados de acordo com sua estrutura química (antraquinona, azo, etc.) ou pelo método de fixação à fibra têxtil (reativos, diretos, azóicos, ácidos, dispersos, etc.) (Guaratini & Zanoni, 2000).

Os corantes têxteis representam um sério problema ambiental, pois aproximadamente 15% do total de corantes produzido no mundo são perdidos durante o tingimento dos tecidos, sendo descartados nos efluentes têxteis (Mahmoodi et al., 2005).

A presença de cor na água, além da poluição visual, afeta a transmissão de luz e a fotossíntese reduzindo a biodiversidade aquática. Alguns corantes são altamente resistentes aos processos de degradação devido à sua estrutura complexa e sua origem sintética. De modo especial, citam-se os efluentes contendo corantes diretos e reativos que, por serem muito solúveis, são altamente resistentes aos processos de tratamentos convencionais (Cristóvão et al., 2008).

Vários métodos físicos, químicos e biológicos encontram-se atualmente disponíveis para o tratamento de efluentes têxteis (Kunz et al., 2002; Mondal, 2008). Estudos têm sido realizados, com resultados promissores, para a remoção de corantes de soluções aquosas e efluentes têxteis, por exemplo, a fotocatalise heterogênea empregando:  $\text{TiO}_2$  e  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  (Santana & Machado, 2002);  $\text{H}_2\text{O}_2$  e  $\text{TiO}_2$  (Mahmoodi et al., 2005);  $\text{O}_3$ ,  $\text{O}_3/\text{UV}$ ,  $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3/\text{TiO}_2$  e  $\text{O}_3/\text{Mn}^{+2}$  (Almeida et al., 2004). Encontram-se também relatados na literatura estudos envolvendo precipitação, degradação eletroquímica, biodegradação (Cristóvão et al., 2008) e adsorção (Ozcan et al., 2007).

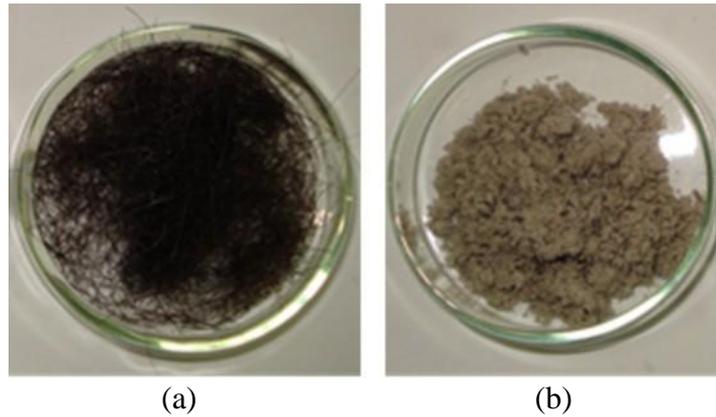
Os processos adsorptivos em materiais de fácil aquisição e baixo custo (Ardejani et al., 2007; Silveira Neta et al., 2011; Silveira Neta et al. 2012), em quitosana (Zubieta et al., 2008; Prado et al., 2004), e em resíduos industriais (Dallago et al., 2005; Antunes et al., 2018; Bertacco et al., 2019; Costa & Melo, 2018; Lacerda et al., 2018; Nascimento et al., 2019) se apresentam como alternativa interessante e viável por apresentarem uma elevada eficiência na remoção de corantes.

Neste trabalho foi utilizado cabelo humano como material adsorvente para remoção dos corantes têxteis Direct Red 80 e Reactive Blue 21 de soluções aquosas e de efluente têxtil.

## 2. Material e Métodos

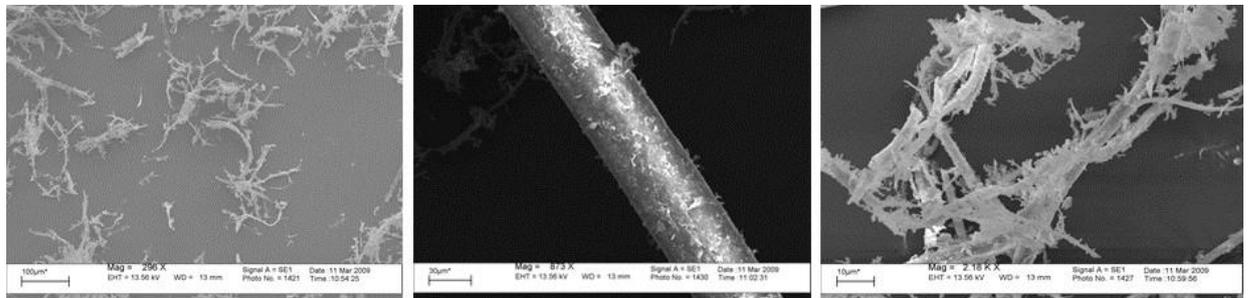
### 2.1. Preparação do adsorvente

O material adsorvente utilizado neste trabalho, cabelo humano, foi disponibilizado por salões de beleza masculinos da cidade de Viçosa - MG, sendo previamente lavado, seco e triturado antes de sua utilização, adquirindo o aspecto de flocos de coloração cinza como mostra a figura 1.



**Figura 1.** Aspecto do cabelo humano *in natura* (a) e triturado (b).

A ampliação realizada pela Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), apresentada na figura 2, mostra uma superfície irregular no cabelo que pode ter contribuído para a retenção dos corantes.

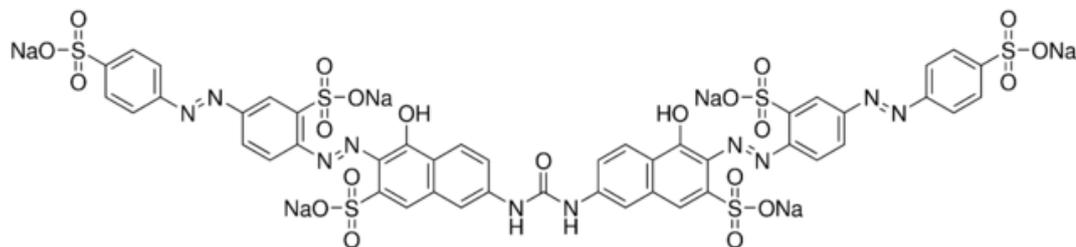


**Figura 2.** Micrografia do cabelo humano triturado com aumentos de 296, 873 e 2180 X.

## 2.2. Adsorvato

Os corantes Direct Red 80 e Reactive Blue 21 e o efluente têxtil foram fornecidos pela Companhia Industrial Itabira do Campo, localizada na cidade de Itabirito - MG.

O corante Direct Red 80 é um corante direto que apresenta quatro grupos cromóforos do tipo azo, como mostra a estrutura química apresentada na figura 3. As principais características do corante Direct Red 80 são apresentadas na tabela 1.

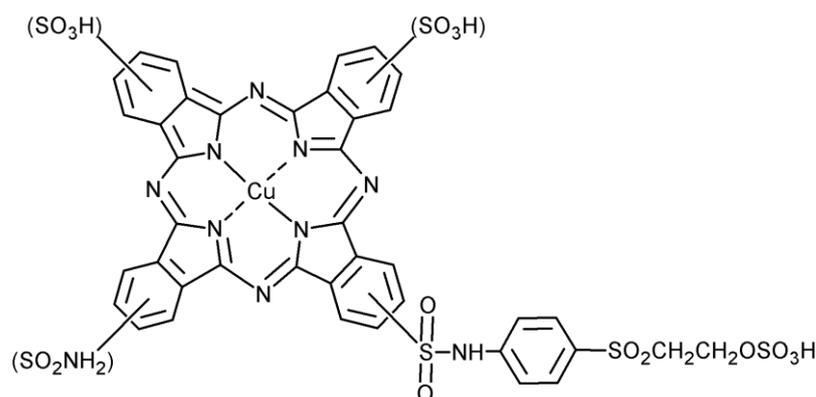


**Figura 3.** Estrutura química do corante Direct Red 80.

**Tabela 1.** Principais características do corante Direct Red 80.

Fórmula molecular	$C_{45}H_{26}N_{10}Na_6O_{21}S_6$
Massa molar ( $g\ mol^{-1}$ )	1373,07
$\lambda_{m\acute{a}x}$ (nm)	537

O corante Reactive Blue 21 é um corante reativo, sendo sua estrutura química apresentada na figura 4. As principais características do corante Reactive Blue 21 são apresentadas na tabela 2.



**Figura 4.** Estrutura química do corante Reactive Blue 21.

**Tabela 2.** Principais características do corante Reactive Blue 21.

Fórmula molecular	$C_{40}H_{26}CuN_{10}O_{16}S_6$
Massa molar ( $g\ mol^{-1}$ )	1159,62
$\lambda_{m\acute{a}x}$ (nm)	631

### 2.3. Ensaios de adsorção em batelada

Os testes adsorptivos foram realizados em bateladas a partir de soluções dos corantes com concentrações de 10 a 2600  $mg\ L^{-1}$  sob força iônica constante. Os experimentos foram realizados à temperatura adequada de 25 °C e em valores de pH em torno de 3,0. Para a obtenção das isotermas de adsorção, um volume de 20,00 mL das soluções foi colocado em contato com 0,100 gramas do adsorvente, sob agitação mecânica, por um período de aproximadamente 11 horas. Acompanhou-se a adsorção por medidas espectrofotométricas na região do UV-Vis (Hitachi - modelo U2000), monitorando-se a adsorção dos corantes nos comprimentos de onda de 537 nm e 631 nm para os corantes Direct Red 80 e Reactive Blue 21, respectivamente.

Também foram realizados testes de adsorção com o efluente bruto, sendo colocado um volume de 20,00 mL do efluente em contato com 0,01, 0,05, 0,10 e 0,15 g de adsorvente, conduzidos nas mesmas condições experimentais descritas para a adsorção das soluções de corantes.

O estudo da cinética do processo adsorptivo foi realizado nas mesmas condições experimentais, utilizando-se 1,000 g do adsorvente em 200,0 mL de solução dos corantes na concentração de 300,0  $mg\ L^{-1}$  e na temperatura de 25 °C, com o pH ajustado em torno de 3,0.

### 2.4. Ponto de carga zero (PCZ) do adsorvente

O ponto de carga zero (PCZ) do adsorvente pode ser definido como o valor do pH em que as cargas superficiais estão balanceadas, ou seja, a carga elétrica líquida da superfície é nula.

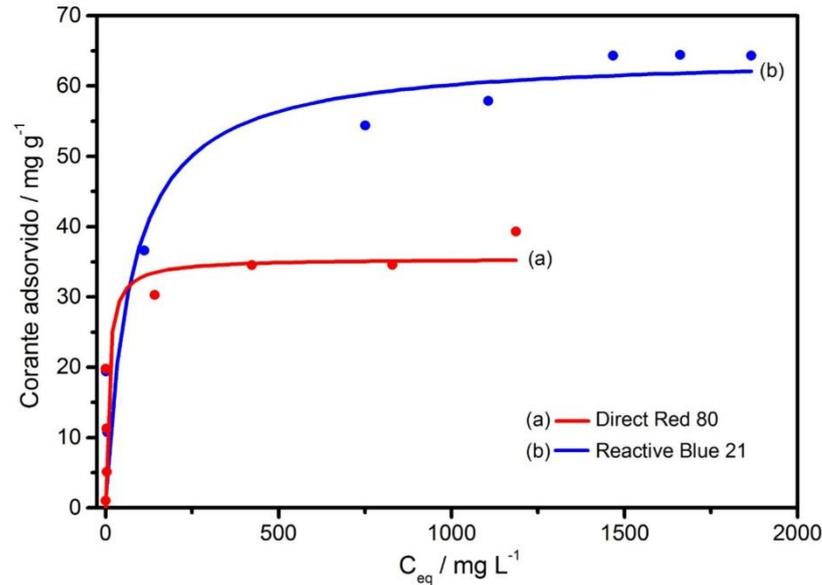
O PCZ foi obtido pela interceptação das curvas de titulação em diferentes concentrações salinas (Egreja Filho et al., 2004). As curvas de titulação potenciométrica foram obtidas utilizando 0,100 g de adsorvente em quatro concentrações de NaCl 1; 0,1; 0,01 e 0,001  $mol\ L^{-1}$ . As titulações das quatro soluções foram realizadas após 72 horas de contato do adsorvente com as soluções salinas.

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1. Ensaios de adsorção para os corantes

O adsorvente, constituído de cabelo humano, previamente lavado com detergente neutro e triturado, sem tratamento químico, teve sua capacidade de adsorção dos corantes Direct Red 80 e Reactive Blue 21 avaliada mediante isotermas de adsorção, as quais foram obtidas à temperatura ambiente e pH 3,0. O modelo de Langmuir foi utilizado para descrever o comportamento do sistema

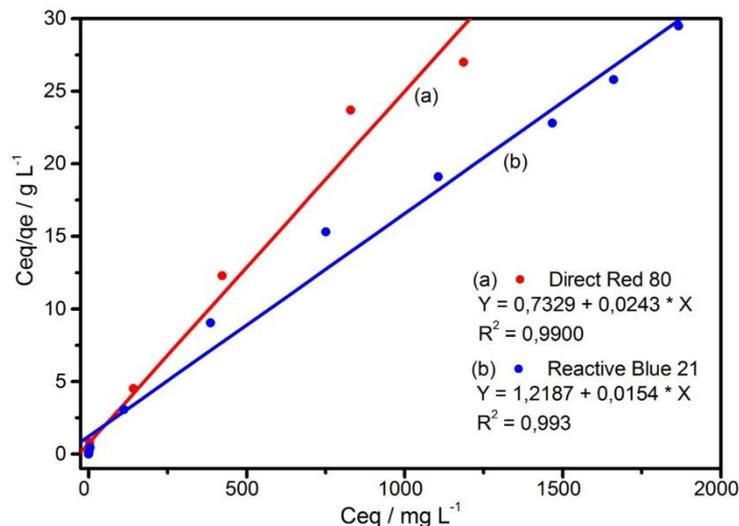
adsorvido. A figura 5 apresenta as isotermas de adsorção obtidas para os corantes Direct Red 80 e Reactive Blue 21.



**Figura 5.** Isotermas de adsorção dos corantes Direct Red 80 (a) e Reactive Blue 21 (b) pelo cabelo humano. Tempo de agitação 11 horas; pH 3,0; Massa de adsorvente 0,100 g; temperatura 25 °C.

As isotermas apresentam elevadas inclinações para concentrações mais baixas evidenciando uma alta afinidade do adsorvente pelos corantes Direct Red 80 e Reactive Blue 21, alcançando progressivamente a saturação do adsorvente e o formato das curvas sugere que a adsorção ocorre em uma única camada.

O tratamento dos dados experimentais também foi realizado utilizando-se a equação de Langmuir na forma linearizada, como mostram os gráficos da figura 6.



**Figura 6.** Forma linearizada da equação de Langmuir para os corantes Direct Red 80 (a) e Reactive Blue 21 (b). Tempo de agitação 11 horas; pH 3,0; massa de adsorvente 0,100 g; temperatura 25 °C.

Através da equação de Langmuir na forma linearizada foram determinados a constante de afinidade ( $K_L$ ), a capacidade máxima de adsorção ( $Q_{max}$ ), o coeficiente de correlação ( $R$ ) e o fator adimensional de separação ( $R_L$ ) para os dois corantes. Esses parâmetros são apresentados na tabela 3.

**Tabela 3.** Parâmetros de Langmuir e  $R_L$  para a adsorção dos corantes Direct Red 80 e Reactive Blue 21 em cabelo humano.

Parâmetros	Direct Red 80	Reactive Blue 21
$K_L$ (L mg <sup>-1</sup> )	0,03310	0,01260
$Q_{max}$ (mg g <sup>-1</sup> )	41,22	64,93
$R^2$	0,9899	0,9931
$R_L$	0,02110	0,03480

O fator adimensional de separação ( $R_L$ ) apresentou um valor muito menor que 1 para os dois corantes estudados, indicando que a adsorção é extremamente favorável, tendendo a uma adsorção irreversível. Portanto, sugere-se a existência de interações eletrostáticas intensas entre a superfície do cabelo humano e as moléculas do corante em solução aquosa.

O cabelo humano pertence a um grupo de proteínas  $\alpha$ -queratinas. As queratinas são formadas por cadeias polipeptídicas e se distinguem de outras proteínas pelo seu alto teor de pontes de dissulfeto provenientes do aminoácido cisteína. A composição química do cabelo humano apresenta centros positivos, referentes aos grupos amino e centros negativos, referentes aos grupos carboxílicos, presentes na estrutura proteica, que são capazes de atrair eletrostaticamente os corantes.

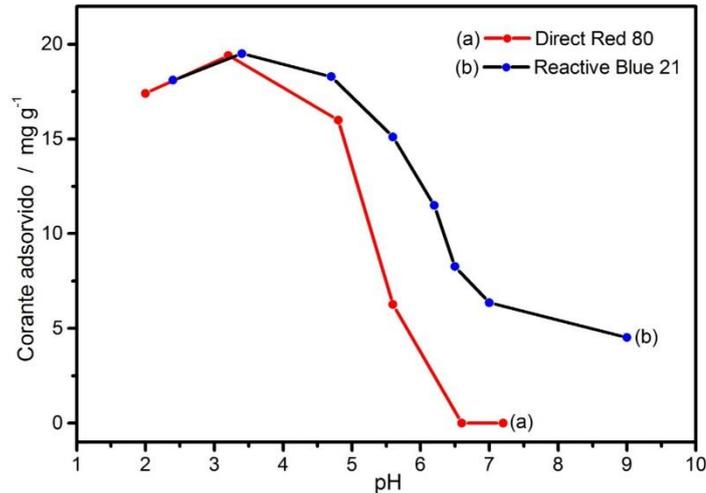
A retenção dos corantes pelas fibras naturais ou sintéticas envolve várias forças atrativas, como interações iônicas, forças de Van der Waals, ligações de hidrogênio e ligações covalentes (Guaratini & Zanoni, 2000). Dependendo do tipo de corante, uma ou mais forças vão atuar sobre o processo de fixação. Com o cabelo humano, que é uma fibra proteica, utilizado como material adsorvente ocorre processos similares.

Os corantes diretos caracterizam-se pela solubilidade em água sendo capazes de tingir fibras de celulose através de interações de Van der Waals. Devido ao grupo eletrofílico, a principal forma de interação dos corantes reativos com a fibra se dá por ligações covalentes. No entanto, esses corantes apresentam também caráter aniônico devido à presença de grupos sulfonatos, e por isso, ocorrem também interações de caráter eletrostático.

Os resultados demonstram que o cabelo humano apresentou maior capacidade de adsorção para o corante Reactive Blue 21 quando comparada com a do corante Direct Red 80. As diferenças observadas na capacidade de adsorção dos corantes parecem estar vinculadas às estruturas químicas de cada corante, como por exemplo, o número de sítios de caráter aniônico, levando-se em consideração a existência de cargas superficiais positivas no cabelo, uma vez que o valor do pH do meio foi menor que o valor do PCZ do cabelo. O corante Direct Red 80 estabelece com o cabelo humano preferencialmente interações de Van der Waals, apresentando em sua estrutura um número maior dos sítios  $-SO_3^-$  (figura 3) em relação ao corante Reactive Blue 21 (figura 4), em valores de pH menores que o valor do pH ótimo de adsorção utilizado nos experimentos, onde são predominantes as estruturas dissociadas das moléculas dos corantes. No entanto, para o corante Reactive Blue 21 são estabelecidas também e principalmente ligações covalentes devido à presença do grupo reativo sulfatoetilsulfona.

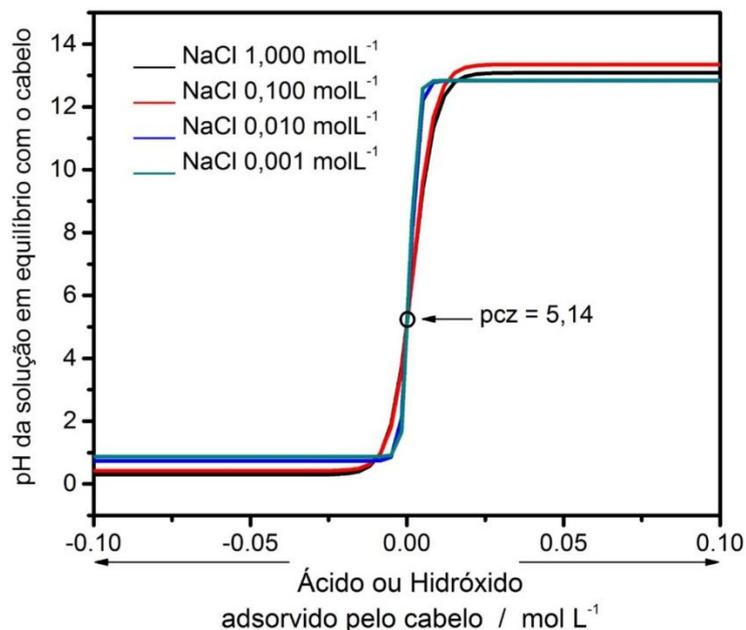
### 3.2. Influência do pH

Os resultados experimentais relativos à capacidade de adsorção em função dos valores de pH são apresentados na figura 7 e indicam uma considerável influência dessa variável nos processos adsorptivos dos corantes Direct Red 80 e Reactive Blue 21 pelo cabelo humano.



**Figura 7.** Capacidade de adsorção dos corantes Direct Red 80 (a) e Reactive Blue 21 (b) pelo cabelo humano com a variação do pH.  $C_i = 100 \text{ mg L}^{-1}$ ; tempo de agitação 14 horas; Massa de adsorvente 0,100 g; temperatura  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

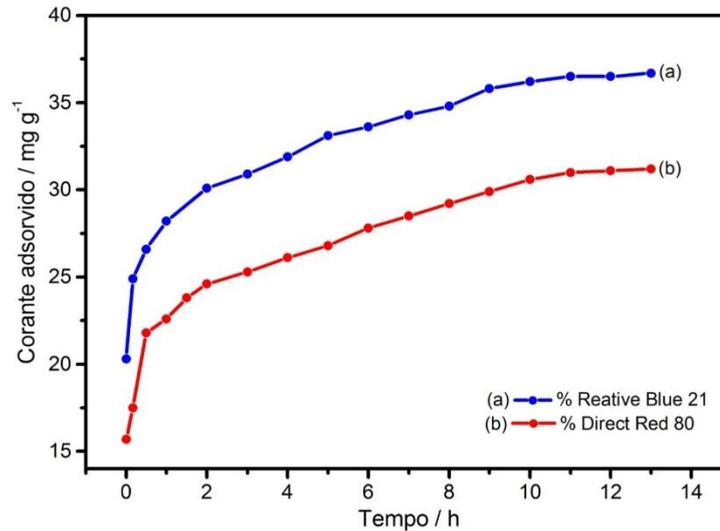
Em valores de pH próximos de 3,0 observaram-se os melhores resultados, ou seja, os maiores valores de capacidade de adsorção dos corantes estudados pelo cabelo humano. A acidez do meio afeta o equilíbrio químico dos grupos iônicos presentes tanto no adsorvente ( $-\text{NH}_3^+$  e  $-\text{COO}^-$ ) como no adsorvato ( $-\text{SO}_3^-$ ), influenciando em suas interações de caráter eletrostático. Valores de pH menores que o valor do pH referente ao PCZ do cabelo, como mostra a figura 8, conduzem a um aumento significativo do seu caráter catiônico, mediante a dissociação dos grupos amino presentes em sua rede proteica, favorecendo a adsorção dos corantes de caráter aniônico. Esse efeito é potencializado pelo deslocamento do equilíbrio químico dos grupos carboxílicos presentes no cabelo para sua forma molecular. Em meio alcalino ocorre desprotonação dos grupos  $-\text{NH}_3^+$  ocasionando uma redução do número desses grupos no adsorvente, diminuindo a interação desses grupos com os grupos  $-\text{SO}_3^-$  dos corantes, o que justifica os menores valores para a capacidade de adsorção nesse meio. Esses valores também podem ser justificados pelo deslocamento do equilíbrio químico dos grupos carboxílicos presentes no cabelo para sua forma iônica.



**Figura 8.** Curvas de titulação potenciométrica do cabelo humano para diferentes concentrações de NaCl, para a determinação do valor de PCZ.

### 3.3. Ensaio cinético

A curva cinética para a adsorção dos corantes estudados em função do tempo (figura 9) mostrou que no início a adsorção foi rápida e a quantidade máxima adsorvida foi alcançada em torno de 11 horas de agitação, mantendo-se constante a partir deste tempo. Assim, portanto esse tempo foi fixado para os ensaios de adsorção.



**Figura 9.** Capacidade de adsorção dos corantes Reactive Blue 21 (a) e Direct Red 80 (b) pelo cabelo com variação do tempo.  $C_{\text{inicial}} = 300 \text{ mg L}^{-1}$ ; pH = 3,0; Massa de adsorvente 0,100 g; temperatura 25 °C.

### 3.4. Ensaio com o efluente têxtil

A partir de resultados experimentais, foi observado que a proporção de 0,050 g de adsorvente para 20,00 mL de efluente bruto, em pH ótimo de adsorção, apresentou o menor valor de absorvância, indicando então uma maior eficiência na remoção da cor. Portanto, esta proporção foi aplicada para remoção de cor do efluente bruto, sendo os resultados comparados com aqueles obtidos para o efluente tratado biologicamente pela indústria. Os resultados da absorvância obtidos para o efluente bruto e tratado são apresentados na tabela 4.

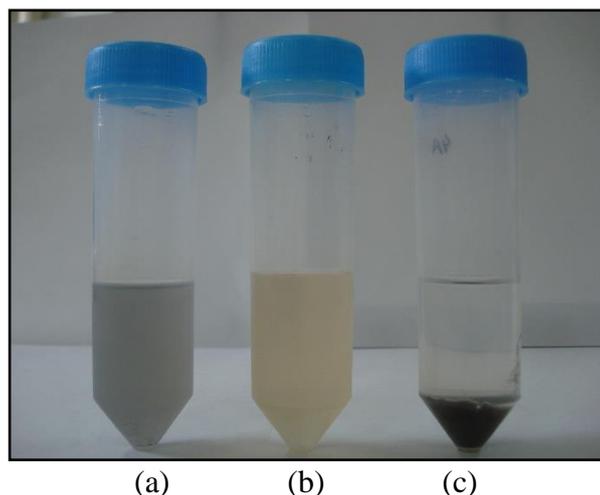
**Tabela 4.** Valores de absorvância para os efluentes.

Amostra	pH	Absorvância ( $\lambda = 444 \text{ nm}$ )
Efluente bruto	3,16	0,200
ETB	8,42	0,086
ETC	3,26	0,042

ETB – Efluente tratado biologicamente.

ETC – Efluente tratado por adsorção em cabelo.

O tratamento do efluente bruto para remoção da cor através da adsorção em cabelo mostrou-se muito eficiente quando comparado ao tratamento biológico, como mostrado na figura 10. O efluente tratado biologicamente apresentou uma redução de 57% da absorvância, comparado ao efluente bruto. Já o efluente tratado através da adsorção em cabelo apresentou uma redução de 79% da absorvância, comparado ao efluente bruto.



**Figura 10.** Aspecto visual do efluente bruto (a), do efluente tratado biologicamente (b) e do efluente tratado através de adsorção em cabelo humano (c).

#### 4. Conclusão

Os resultados obtidos demonstraram que o cabelo humano apresenta potencial, como adsorvente, para ser aplicado na remoção de corantes em solução aquosa podendo vir a ser utilizado na descoloração e descontaminação de efluentes de indústrias têxteis.

Do ponto de vista econômico, o custo para obtenção e preparação do cabelo humano utilizado como adsorvente é interessante, considerando que esse material é descartado diariamente no lixo comum.

Em termos ambientais, um aspecto importante a ser ressaltado neste tratamento é a remoção da molécula do corante sem degradá-la, o que poderia provocar a formação de novas substâncias mais tóxicas que o corante original.

Buscou-se neste estudo utilizar o tratamento dentro de condições práticas vivenciadas pela indústria. Para isso utilizou-se um efluente real onde substâncias auxiliares presentes no efluente poderiam interferir. Apesar disso, o tratamento mostrou-se indiferente a qualquer interferência.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), para o desenvolvimento deste projeto.

#### Referências

- ABIT (2022). Perfil do Setor. *ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confeção*. <http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acessado em 10/03/22
- Al-Tohamy, R.; Ali, S. S.; Li, F.; Okasha, K. M.; Mahmoud, Y. A. G.; Elsamahy, T.; Jiao, H.; Fu, Y.; Sun, J. (2022). A critical review on the treatment of dye-containing wastewater: Ecotoxicological and health concerns of textile dyes and possible remediation approaches for environmental safety. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 231, 113160. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113160>
- Almeida, E.; Assalin, M. R.; Rosa, M. A.; Duran, N. (2004). Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. *Quim. Nova*, 27, 818-824. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422004000500023>

- Antunes, E. C. E. S.; Pereira, J. E. S.; Ferreira, R. L. S.; Medeiros, M. F. D.; Barros Neto, E. L. (2018). Remoção de corante textil utilizando a casca do abacaxi como adsorvente natural. *Holos*, 3(34), 81-97. [https://doi.org/ 10.15628/holos.2018.5334](https://doi.org/10.15628/holos.2018.5334)
- Ardejani, F. D.; Badii, K.; Limaee, N. Y.; Mahmoodi, N. M.; Arami, M.; Shafaei, S. Z.; Mirhabibi, A. R. (2007). Numerical modelling and laboratory studies on the removal of Direct Red 23 and Direct Red 80 dyes from textile effluents using orange peel, a low-cost adsorbent. *Dyes and Pigments*, 73, 178-185. [https://doi.org/ 10.1016/j.dyepig.2005.11.011](https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2005.11.011)
- Bertacco, T. C.; Ceron, L.P.; Liks, L. (2019). Avaliação da cinética de secagem da fibra do sisal e do uso das fibras na adsorção de corante têxtil sintético. *Engevista*, 21 (1), 114-125. [https://doi.org/ 10.1590/S1517-707620200004.1199](https://doi.org/10.1590/S1517-707620200004.1199)
- Costa, D. M. A.; Melo, J. J. S. (2018). Estudo da capacidade de remoção de azul de metileno pela biomassa da casca do limão Taiti (*Citrus Latifolia*). *Holos Environment*, 18(2), 271-282. <https://doi.org/10.14295/holos.v18i2.12285>
- Cristóvão, R. O.; Tavares, A. P. M.; Ferreira, L. A.; Loureiro, J. M.; Boaventura, R. A. R.; Macedo, E. A. (2009). Modeling the discoloration of a mixture of reactive textile dyes by commercial laccase. *Bioresource Technology*, 99, 4768. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.08.007>
- Dallago, R. M.; Smaniotto, A.; Oliveira, L. C. A. (2005). Resíduos Sólidos de Curtumes como Adsorventes para a Remoção de Corantes em Meio Aquoso. *Quim. Nova*, 28, 433-437. [http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe\\_artigo.asp?id=3099](http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=3099)
- Egreja Filho, F. B.; Teófilo, R. F.; Reis, E. L.; Reis, C.; Fontes, M. P. F. (2004). Determinação do ponto de carga zero por efeito salino (PCZES) em amostras de solos, por titulação contínua. *Tecno-Lógica*, 8, 51-59.
- Guaratini, C. C. I.; Zanoni, M. V. B. (2000). Corantes têxteis. *Quim. Nova*, 23, 71-78. [http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe\\_artigo.asp?id=1434](http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=1434)
- Kunz, A.; Zamora, P. P.; Moraes, S. G.; Durán, N. (2002). Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis. *Quim. Nova*, 25, 78-82. [http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe\\_artigo.asp?id=5296](http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=5296)
- Lacerda, K. D. R.; Vieira, F. F.; Almeida, M. M.; Santos, W. B. dos. (2018). Use of sugarcane bagasse in the adsorption of textile dyes in aqueous solutions. *Revista DAE*, 66(213), 124-134. [https://doi.org/ 10.33448/rsd-v10i7.16974](https://doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16974)
- Mahmoodi, N. M.; Arami, M.; Limaee, N. Y.; Tabrizi, N. S. (2005). Decolorization and aromatic ring degradation kinetics of Direct Red 80 by UV oxidation in the presence of hydrogen peroxide utilizing TiO<sub>2</sub> as a photocatalyst. *Chemical Engineering Journal*, 112, 191-196. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2005.07.008>
- Mondal, S. (2008). Methods of Dye Removal from Dye House Effluent - An Overview. *Environmental Engineering Science*, 25, 383-396. <http://dx.doi.org/10.1089/ees.2007.0049>
- Nascimento, K. K. R.; Vieira, F. F.; Almeida, M. M.; Buriti, J. S.; Barros, A. J. M.; Oliveira, R. J. (2019). Aproveitamento da casca de laranja Pêra como adsorvente no tratamento de efluentes têxteis. *Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(9), 716-722. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n9p716-722>
- Özcan, A.; Ömeroglu, C.; Erdogan, Y.; Özcan, A. S. (2007). Modification of bentonite with a cationic surfactant: An adsorption study of textile dye Reactive Blue 19. *Journal of Hazardous Materials*, 140, 173-179. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.138>
- Prado, A. G. S.; Torres, J. D.; Faria, E. A.; Dias, S. C. L. (2004). Comparative adsorption studies of indigo carmine dye on chitin and chitosan. *Journal of Colloid and Interface Science*, 277, 43-47. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.04.056>
- Santana, V. S.; Machado, N. R. C. F. (2002). Degradação fotocatalítica de efluentes de indústrias têxtil empregando TiO<sub>2</sub> e Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, sob irradiação visível. *Acta Scientiarum*, 24, 1681-1686.

- Silveira Neta, J. J.; Moreira, G. C.; Silva, C. J.; Reis, C.; Reis, E. L. (2011). Use of polyurethane foams for the removal of the Direct Red 80 and Reactive Blue 21 dyes in aqueous medium. *Desalination*, 281, 55-60. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.07.041>
- Silveira Neta, J.J.; Silva, C. J.; Moreira, G. C.; Reis, C.; Reis, E. L. (2012). Removal of the Reactive Blue 21 and Direct Red 80 dyes using seed residue of *Mabea fistulifera* Mart. as biosorbent. *Revista Ambiente & Água*, 7, 104-119. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.854>
- Zanoni, M. V. B.; Carneiro, P. A. (2001). O descarte dos corantes têxteis. *Ciência Hoje*, 29, 61-64.
- Zubieta, C. E.; Messina, P. V.; Luengo, C.; Dennehy, M.; Pieroni, O.; Schulz, P. C. (2008). Reactive dyes remotion by porous TiO<sub>2</sub>-chitosan materials. *Journal of Hazardous Materials*, 152, 765-777. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.07.043>