

ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO UTILIZANDO CABELO HUMANO NATURAL E CALCINADO¹

ADSORPTION OF METHYLENE BLUE USING NATURAL AND CALCINED HUMAN HAIR

Sophia Sonza Diefenbach², William Leonardo da Silva³ e Joana Bratz Lourenço⁴

RESUMO

A elevada quantidade de resíduos de cabelo humano descartado sem possibilidade de reuso pelos salões de beleza despertou o interesse de uso desse produto como adsorvente alternativo, na forma natural e calcinada, para o tratamento de efluentes industriais contendo azul de metileno, um corante amplamente empregado na indústria. Para esse fim, foram realizadas caracterizações do cabelo natural, como a microscopia óptica, que mostrou uma estrutura escamosa para a fibra de cabelo, enquanto a espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) apresentou ligações típicas da queratina, proteína do cabelo. Verificou-se o efeito da calcinação no potencial zeta, de -14,8 mV para cabelo natural e -24,1 mV para o calcinado, bem como a área superficial, obtida por porosimetria de nitrogênio, de 158,09m²g⁻¹ no cabelo natural e 167,67m²g⁻¹ no cabelo calcinado, o que comprova que a calcinação melhora as características de superfície do adsorvente. As isotermas de adsorção, Langmuir e Freundlich, foram construídas após a realização do ensaio de adsorção em nível de bancada, com a duração de 210 minutos, sendo o modelo de Friedlich o mais adequado para representar o processo, pois é destinado para sistemas heterogêneos. O uso do cabelo humano permitiu uma eficiência de adsorção de 42,24% do adsorbato, o que é significativo, visto que não há custos para o uso desse material como adsorvente. O emprego da calcinação ao cabelo melhorou em apenas 2% a capacidade de adsorção, o que demonstra que, apesar das melhores características superficiais, a calcinação não provocou melhora significativa da adsorção.

Palavras-chave: corantes, resíduos de salão de beleza, sustentabilidade, tratamento de efluente.

ABSTRACT

The high amount of human hair waste discarded without the possibility of reuse by beauty salons attracted the interest of its use as an alternative adsorbent in the natural and calcined forms for the treatment of industrial effluents containing methylene blue, a dye widely used in industry. Natural hair was characterized by optical microscopy, which showed a scaly structure on the hair fiber, whereas the Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) presented typical bonds of keratin, a hair protein. The effect of calcination on the zeta potential was checked: -14.8 mV for natural hair and -24.1 mV for calcined hair. The surface area, obtained by nitrogen porosimetry is 158.09 m²g⁻¹ in natural hair and 167.67 m²g⁻¹ in calcined hair, which proves that the calcination improves the surface characteristics of the adsorbent. The adsorption isotherms Langmuir and Freundlich were constructed after the adsorption test at the bench level, with a duration of 210 minutes by using the Freundlich model more suitable to represent the process since it is destined for heterogeneous systems. The use of human hair allowed an adsorption efficiency of 42.24% of the adsorbate, which is significant, since there are no costs for the use of this material as adsorbent. The use of calcination to the hair improved the

¹ Trabalho Final de Graduação - TFG.

² Acadêmica do curso de Engenharia Química - Universidade Franciscana. E-mail: sophidiefen@hotmail.com

³ Coorientador - Universidade Franciscana. E-mail: williamleonardo_silva@hotmail.com

⁴ Orientadora - Universidade Franciscana. E-mail: joana.lourenco@ufn.edu.br

adsorption capacity by only 2%, which shows that despite the best surface characteristics, the calcination did not cause a significant improvement of the adsorption.

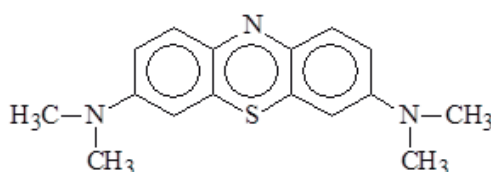
Keywords: dye, waste by beauty salons, sustainability, effluent treatment.

INTRODUÇÃO

A presença de corantes nos efluentes industriais e seu tratamento geram grande preocupação no que se refere à preservação do meio ambiente, visto que sua descarga em corpos hídricos gera, além de problemas estéticos, problemas toxicológicos. Por exemplo, indústrias de couro, tecidos, papel, plásticos, que utilizam corantes, sintéticos ou naturais, na coloração de seus produtos, e assim consomem uma grande quantidade de água, geram um enorme volume de efluentes coloridos (RAFATULLAH *et al.*, 2010).

O azul de metileno é um corante catiônico, tiazínico e básico que tem aplicações em diversas áreas, como química, médica e biológica. É comumente utilizado na coloração de algodão, seda, madeira, lã, papel, nylons e poliésteres, podendo ser encontrado na indústria farmacêutica em medicamentos anti-histamínicos e antipsicóticos. Porém suas propriedades tóxicas são preocupantes, visto que pode causar queimaduras nos olhos de humanos e animais, além de náuseas, vômitos, sudorese e confusão mental (RAFATULLAH *et al.*, 2010; FABRÍCIO *et al.*, 2010; ALFREDO *et al.*, 2015). A figura 1 ilustra a fórmula estrutural do azul de metileno.

Figura 1 - Fórmula estrutural do corante azul de metileno



Fonte: Elmorsi (2011)

A adsorção é um fenômeno que estuda a capacidade que um sólido tem de acumular na sua superfície certa substância contida em soluções aquosas, promovendo a separação dos componentes desse fluido. É largamente utilizado como alternativa para o tratamento de efluentes coloridos (GEANKOPLIS, 2003; NASCIMENTO *et al.*, 2014). Alguns desses tratamentos têm eficiência limitada e podem produzir resíduos que requerem outros tratamentos, além de apresentarem difícil degradação (PEIXOTO; MARINHO; RODRIGUES, 2013). Com isso, o tratamento físico tem se destacado, pois aceita os mais variados tipos de adsorventes. Devido a condições que limitam o uso do adsorvente mais comum do tratamento físico, carvão ativado, como não seletividade, ineficiência em remover certos adsorbatos e baixa capacidade de regeneração, está se estudando o uso de adsorventes alternativos, como os biossorventes (BHATTACHARYYA; SARMA, 2003; LIN; LIU, 2000; LOPES, 2017).

Devido aos elevados custos associados ao uso de adsorventes ou biossorventes comerciais, um crescente interesse por resíduos da indústria e agricultura, além de biomassa microbiana proveniente de bactérias, fungos e algas tem ocorrido (PEIXOTO; MARINHO; RODRIGUES, 2013; ELMOSRI, 2011). Na tabela 1, constam alguns exemplos de biossorventes já utilizados para biossorver corantes têxteis, encontrados na literatura nos últimos 10 anos.

Como o uso de adsorventes ou biossorventes comerciais tem alto custo, é crescente o interesse por resíduos da indústria e agricultura, além do uso de biomassa microbiana proveniente de bactérias, fungos e algas (PEIXOTO; MARINHO; RODRIGUES, 2013; ELMOSRI, 2011). Na tabela 1, constam alguns exemplos de biossorventes já utilizados para biossorver corantes têxteis, encontrados na literatura nos últimos 10 anos.

Tabela 1 - Relação de biossorventes e corantes.

Biossorvente	Corante	Autor
Resíduos da palha de milho e da bainha do palmito pupunha <i>in natura</i>	Azul de metileno	Honorato <i>et al.</i> (2015)
Mesocarpo de coco verde	Cinza reativo BF-2R	Rocha <i>et al.</i> (2012)
Bagaço de cana-de-açúcar nas formas bruta e ativada	Violeta reativo 5	Castro <i>et al.</i> (2014)
Aguapé (<i>Eichhornia crassipes</i>)	Turquesa remazol	Holanda (2010)
Caroço de seriguela e casca de cacau	Alaranjado de metila	Pimentel <i>et al.</i> (2015)
Cabelo humano	Direct Red 80 e Reactive Blue 21	Damasceno (2008)
Cabelo humano	Azul de metileno	Zaini e Sudi (2017)

Uma alternativa de biossorvente é o cabelo humano, já que pode ser coletado em salões de beleza de forma gratuita, o qual corresponde a uma quantia de 12% a 53% do total de resíduos gerados em um salão de beleza (CHIARAMONTE; CALHEIRO, 2016; GOGLIO, 2008). Para esses resíduos não há legislação vigente, o que, juntamente com a má gestão dos resíduos sólidos, gera significativos impactos ambientais, pois esses resíduos estão sendo descartados em aterros sanitários domésticos, sem quaisquer tratamentos ou separação (CHIARAMONTE; CALHEIRO, 2016).

Damasceno (2008) utilizou cabelo humano para a realização de descontaminação e descoloração de efluentes de indústrias têxteis e observou grande capacidade para adsorção. Ukotije-ikwut *et al.* (2016) compararam a eficiência do cabelo humano de diferentes origens, asiática, africana e europeia, na adsorção de petróleo bruto, óleo vegetal e óleo diesel, e o cabelo que obteve maior adsorção foi o cabelo africano. Esses resultados revelam que o cabelo humano pode ser utilizado como adsorvente de baixo custo e ambientalmente amigável para a limpeza de derramamento de óleo.

A estrutura da fibra capilar é o que confere a propriedade adsorvente ao cabelo, composto por três diferentes camadas. A camada mais externa, composta por células em forma de “escamas”, é denominada cutícula. A segunda camada representa o corpo capilar e é responsável por 90% do fio do cabelo, chamada de córtex é a responsável pela impregnação da tintura, logo, da adsorção. A terceira e última estrutura, quando encontrada, é de forma descontínua no centro da fibra (CARVALHO *et al.*, 2005).

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo observar o comportamento do cabelo humano, em sua forma natural e calcinada, como adsorvente do corante azul de metileno. A fim de atender à Legislação para as condições de lançamento em corpos hídricos, com relação ao parâmetro de cor, a resolução federal do Conselho Nacional do Meio Ambiente N° 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011), não apresenta nenhuma restrição. Porém a legislação estadual do Conselho Estadual do Meio Ambiente n° 355/2017 (RIO GRANDE DO SUL, 2017) estabelece que os efluentes líquidos de fontes poluidoras não devem conferir mudança de coloração ao corpo hídrico onde o efluente será despejado. Sendo assim, no presente trabalho, a adsorção foi empregada e sua eficiência na retirada de coloração do azul de metileno foi avaliada, para o cabelo natural e calcinado, buscando atender à legislação estadual vigente.

MATERIAL E MÉTODOS

PREPARO DAS AMOSTRAS

A amostra de cabelo humano loiro e natural foi obtida por doação de um mesmo indivíduo. Após ser coletada, passou por separação de acordo com a ABNT NBR 10007:2004. Posteriormente, foi moída em um moinho de facas (Tecnal, TE650, Brasil) do Laboratório de Pesquisa de Materiais da Universidade Franciscana (UFN) e classificada em uma peneira de 600 μm (Bertel, 600 mm, Brasil). Uma parte da amostra foi calcinada em mufla (Sanchis, DTT1300, Brasil), no Laboratório de Cerâmica da UFN, durante quatro horas em temperatura de 450 °C e foi submetida à classificação na peneira de 600 μm para uniformização granulométrica.

MICROSCOPIA ÓPTICA

Para a clara observação da estrutura do cabelo natural, foi utilizado o microscópio biológico do Laboratório de Microbiologia Ambiental da UFN. Para a realização dessa caracterização, foi empregada a metodologia de Lara (2016), descrita a seguir, para o preparo de lâminas semipermanentes para análise de cutícula:

- 1) coletar o cabelo humano natural;
- 2) lavar com álcool etílico comercial (Synth, PA) e secar com papel toalha;
- 3) passar uma fina camada de esmalte incolor sobre uma lâmina de vidro limpa e deixar secar por 20 minutos;
- 4) colocar a haste do fio de cabelo sobre a lâmina;
- 5) sobrepor a lâmina ao material contendo o cabelo e pressionar por cinco minutos;
- 6) deixar o esmalte secar por mais 30 minutos e posteriormente retirar cuidadosamente a lâmina superior;

- 7) etiquetar a lâmina;
- 8) analisar em microscópio ótico.

ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

A FTIR foi utilizada para identificar a presença dos grupos funcionais do cabelo natural na faixa do número de onda entre 4000 cm^{-1} e 500 cm^{-1} , 5 *scans*, utilizando o Espectrofotômetro de Infravermelho do Laboratório de Nanociência da UFN. Utilizou-se a técnica de disco prensado e produziu-se uma pastilha de cerca de 100 mg de brometo de potássio contendo entre 0,5 e 1 mg de amostra de cabelo (SILVERSTEIN; WEBSTER; KIEMLE, 2007).

POTENCIAL ZETA

Para a determinação da carga superficial do cabelo natural, a análise do potencial zeta foi realizada. A amostra, após passar por moinho de facas e peneira, foi submetida a moagem com almofariz e pistilo até a formação de um pó. Cerca de 1 mg desse material foi adicionado a uma solução de cloreto de sódio 0,01 M, a qual foi analisada (Malvern-Zetasizer, nanoZSP, DTS1080) no Laboratório de Nanociências da UFN, com leitura de -100 a 20 mV, em triplicata.

POROSIMETRIA DE NITROGÊNIO

As amostras foram desgaseificadas, preliminarmente, durante 12 horas a uma pressão de 10^{-2} mbar e $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ de temperatura, no equipamento modelo Gemini 2375 da marca Micromeritics®, do Laboratório de Catálise e Polímeros da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). A Equação de Brunauer-Emmett-Teller (Método BET) é empregada para determinar as áreas específicas (S_{BET}), na faixa de $P/P_0 = 0,05$ a $0,35$, e os diâmetros e volumes de poros pela Equação de Barret-Joyner-Halenda (BJH).

ESPECTROSCOPIA UV-VIS

Para poder acompanhar a variação da concentração do corante azul de metileno (Neon, PA, Brasil) ao longo da adsorção, soluções com concentração de 10 a 60 mg L^{-1} , variando em intervalos de 10 mg L^{-1} , foram feitas e tiveram suas absorbâncias medidas em espectrofotômetro de feixe duplo (Shimadzu, UV- 1650PC, Japão), no Laboratório de Controle de Qualidade de Medicamentos e Equivalência Farmacêutica da UFN, com leitura direta em comprimento de onda de 660 nm (ALFREDO *et al.*, 2015).

Com isso, pôde-se construir uma curva de calibração para prever a concentração para os diversos valores de absorvâncias obtidos ao longo da adsorção, medidos no espectrômetro.

ENSAIOS DE ADSORÇÃO

Para avaliar a adsorção, 100 mL de uma solução com concentração de 60 mg L⁻¹ de azul de metileno (Neon, PA, Brasil) foram adicionados a um béquer. Os adsorventes cabelo natural e cabelo calcinado foram testados, sendo 0,07 g de adsorvente utilizados em cada ensaio, separadamente, conforme Silva *et al.* (2016). A solução com o adsorvente foi mantida sob agitação constante por 210 min no Laboratório de Operações Unitárias da UFN. As amostras foram retiradas com uma seringa, em tempos pré-determinados, filtradas, utilizando uma seringa comercial e um filtro 0,22 µm (Millex GP, 0,22 µm, Alemanha), e armazenadas em *ependorfes* para a realização da espectroscopia UV-VIS.

Para expressar os resultados da adsorção, foram construídas curvas, de acordo com os modelos de Langmuir e Freundlich. Na equação 1, consta a equação do modelo de Langmuir, e na equação 2, sua forma linearizada (LANGMUIR, 1916):

$$q = \frac{q_{m\acute{a}x} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (1)$$

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_{m\acute{a}x} K_L C_e} + \frac{1}{q_{m\acute{a}x}} \quad (2)$$

Em que:

q : quantidade do soluto adsorvido por grama de adsorvente no equilíbrio (mgg⁻¹);

$q_{m\acute{a}x}$: capacidade máxima de adsorção (mgg⁻¹);

K_L : constante de interação adsorbato/adsorvente (Lmg⁻¹);

C_e : concentração do adsorbato no equilíbrio (mgL⁻¹).

Na equação 3, consta a equação do modelo de Freundlich, e sua forma linearizada está apresentada na equação 4 (FEBRIANTO *et al.*, 2009):

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (3)$$

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (4)$$

Em que:

q_e : quantidade do soluto adsorvido (mgg⁻¹);

C_e : concentração de equilíbrio em solução (mgL⁻¹);

n: constante relacionada à heterogeneidade da superfície (adimensional);

K_F : constante de capacidade de adsorção de Freundlich ($\text{mg}^{1-(1/n)}(\text{g}^{-1})\text{L}^{1/n}$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

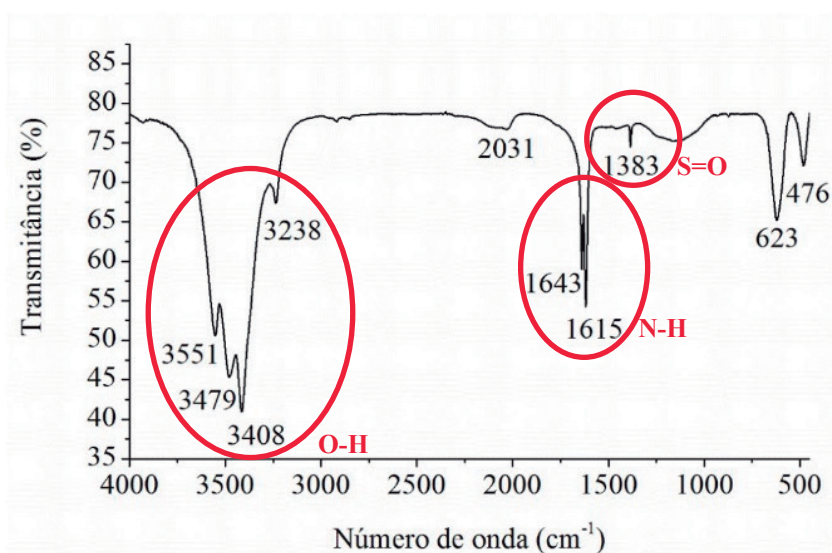
ANÁLISE DO POTENCIAL ZETA

O cabelo natural apresentou potencial zeta de -14,8 mV, enquanto o cabelo calcinado, -24,1 mV. Isso demonstra que esses adsorventes devem ser utilizados para a adsorção de adsorbatos com carga positiva, como é o caso do azul de metileno. Verifica-se, ainda, o efeito da calcinação no aumento do potencial zeta, em 62,84 %, devido à modificação no arranjo da estrutura do adsorvente com o aumento da temperatura (SUGANTHI; RAJAN, 2012; ERDEM, 2015).

ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

Por meio da análise de FTIR, obteve-se o espectro apresentado na figura 2, na qual destacam-se os grupos funcionais encontrados. Ao comparar o espectro da amostra com o espectro da queratina (BARBOSA, 2008), confirma-se a presença dessa proteína na amostra do cabelo humano analisada neste trabalho. As bandas contidas entre 3600 e 3100 cm^{-1} estão relacionadas com as vibrações de deformação axial na ligação O-H. A deformação angular simétrica das ligações N-H pode ser evidenciada nos picos de 1650 a 1580 cm^{-1} , o pico observado entre 1410 e 1380 cm^{-1} pertence às ligações de S=O (SILVA, 2012; SILVERSTEIN; WEBSTER; KIEMLE, 2007).

Figura 2 - Espectro de absorção no infravermelho da amostra de cabelo natural



Fonte: Construção dos autores.

POROSIMETRIA DE NITROGÊNIO

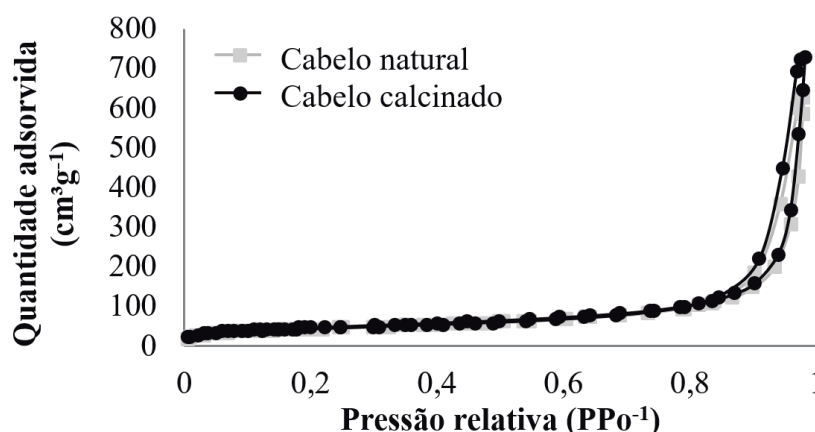
A porosimetria de nitrogênio evidenciou as mudanças que o tratamento térmico, calcinação, gera na amostra. Na tabela 2, comparam-se os resultados da área superficial, o volume e o tamanho do poro entre as duas amostras, sendo todos os valores maiores para a amostra calcinada, que, conforme os resultados de adsorção, apresenta mais sítios ativos e promove melhor adsorção. O diâmetro dos poros classifica-se em mesoporos, segundo a IUPAC (1972).

Tabela 2 - Resultados da porosimetria para as amostras de cabelo natural e calcinado.

Amostra	S_{BET} (m^2g^{-1})	V_p (cm^3g^{-1})	D_p (nm)
Cabelo natural	158,10	0,94	26,56
Cabelo calcinado	167,67	1,09	29,44

Na figura 3, apresentam-se as isotermas de adsorção e dessorção das amostras de cabelo natural e calcinado.

Figura 3 - Curvas de adsorção e dessorção das amostras

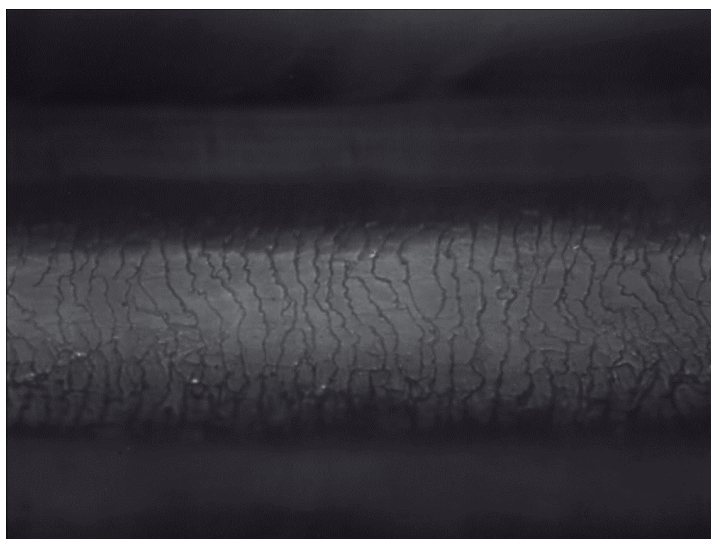


Conforme demonstrado na tabela 2, a amostra calcinada apresentou maior valor de S_{BET} ($167,67 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), diâmetro de poros ($29,44 \text{ nm}$) e maior volume de poros ($1,09 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$). Além disso, a calcinação promoveu alterações nas propriedades texturais em relação à amostra natural, como um aumento de $158,10$ para $167,67 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ na área específica, $26,56$ para $29,44 \text{ nm}$ e $0,94$ para $1,09 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ no volume de poros, em virtude da sinterização dos poros (SUGANTHI; RAJAN, 2012; ERDEM, 2015). Além disso, por meio do diâmetro de poros, é possível afirmar que são estruturas com mesoporos (de acordo com a União Internacional de Química Aplicada - IUPAC) com isotermas do tipo IV com histereses do tipo H1, características de estruturas mesoporosas.

MICROSCOPIA ÓPTICA

Com a microscopia óptica, foi possível visualizar com clareza a estrutura mais externa do fio de cabelo humano, a cutícula. Na figura 4, contém um fio de cabelo longitudinal com a impressão da cutícula obtida por meio da metodologia de Lara (2016).

Figura 4 - Lâmina com a cutícula impressa em esmalte, 125X de aumento



Fonte: Construção dos autores.

ENSAIO DE ADSORÇÃO

A curva de calibração obtida para as diferentes concentrações de azul de metileno é apresentada na equação 5, a qual foi utilizada para prever as concentrações da solução ao longo do ensaio de adsorção:

$$\text{Absorbância} = 0,0519 \times \text{Concentração} \quad r^2 = 0,9617 \quad (5)$$

No quadro 1, é apresentada a comparação dos resultados dos dois modelos, Langmuir e Freundlich, para a amostra de cabelo natural (CN) e cabelo calcinado (CC). Os ensaios realizados obtiveram resultados satisfatórios, proporcionando uma adsorção de 42,24% para o CN e 43,05% para o CC. Verifica-se, ainda, pelo valor do coeficiente de determinação (r^2), que os dois modelos apresentaram um bom ajuste aos dados, porém o melhor ajuste é para a isoterma de Freundlich, o que está de acordo com o esperado, visto que esse modelo é destinado para superfícies heterogêneas, em que ocorre adsorção em multicamadas com interações entre as moléculas de adsorbato, enquanto o modelo de Langmuir assume que a adsorção ocorre em sítios específicos e homogêneos na superfície do adsorvente, em que cada sítio é responsável pela adsorção de somente uma molécula de corante, não ocorrendo nenhuma adsorção a mais (DOTTO, 2011).

Quadro 1 - Resultados dos ensaios de adsorção com o cabelo humano em forma natural e calcinado.

Isoterma	Cabelo natural				Cabelo calcinado			
	$q_{m\acute{a}x}$	K_L	r^2	% de adsorção	$q_{m\acute{a}x}$	K_L	r^2	% de adsorção
Langmuir	75,188	4,0303	0,9912	42,24	76,9231	6,1905	0,9899	43,04
Freundlich	n	K_F	r^2		n	K_F	r^2	
	14,4509	88,0238	0,9978		18,0832	86,4371	0,9975	

Em que:

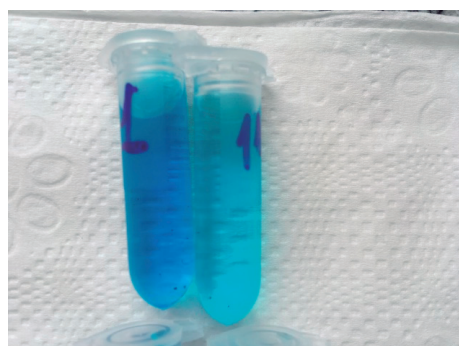
$q_{m\acute{a}x}$: capacidade máxima de adsorção (mg g^{-1});

K_L : constante de interação adsorbato/adsorvente (L mg^{-1});

n: constante relacionada à heterogeneidade da superfície (adimensional);

K_F : constante de capacidade de adsorção de Freundlich ($\text{mg}^{1-(1/n)}(\text{g}^{-1})\text{L}^{1/n}$).

Na figura 5, demonstra-se a diferença entre a amostra 1 no tempo 0 min e a amostra 11 no tempo 210 min após a adsorção para os dois adsorbatos. A solução foi de fato clarificada com o uso dos adsorventes, porém não foi possível remover completamente a cor de forma a alcançar o que a legislação exige, que é o efluente totalmente ausente de quaisquer colorações (RIO GRANDE DO SUL, 2017).

Figura 5 - Amostras, pré e pós adsorção, com (a) cabelo natural e (b) cabelo calcinado.

(a)



(b)

Fonte: Construção dos autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho, teve-se como objetivo observar o CN e CC como adsorventes do corante azul de metileno, e obtiveram-se resultados satisfatórios, com adsorção de 42,237 e 43,045 %, respectivamente. O potencial zeta, para ambos, apresentou a carga superficial negativa, o que indica que podem ser utilizados para a adsorção de soluções catiônicas, como utilizada neste estudo. As curvas dos ensaios de adsorção apresentaram melhor ajuste (r^2 de 0,9978 e 0,9975, para o cabelo natural e calcinado, respectivamente) para o modelo de Freundlich, o que indica que a superfície do cabelo humano é heterogênea.

O tratamento térmico da calcinação elevou consideravelmente o valor do potencial zeta, em 62,84 %, o que possivelmente se explica pela formação do óxido. Ao comparar todas as análises, observou-se que a calcinação aumenta ainda a área superficial (6,06 %), o volume (16,31 %) e o diâmetro do poro (10,84 %), porém essa modificação não se transmitiu como eficiência para a adsorção, pois houve um aumento de apenas 1,91% entre o CN e CC, o que não compensaria os custos e os rendimentos relacionados ao processo de calcinação, visto que, após este, a amostra reduz a 8,14 % da amostra total.

Diante desses resultados, deve-se levar em conta que o CN apresenta uma satisfatória adsorção e não haveria custos no seu emprego, o que é uma vantagem quando comparado a adsorventes comerciais, como o carvão ativado. Além disso, por meio da adsorção proposta, não se pode atender à legislação vigente, que requer a ausência de cor no efluente. Para isso, novos testes devem ser realizados de forma a melhorar a eficiência do processo.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10007:2004 - Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ALFREDO, A. P. C. *et al.* Adsorção de azul de metileno em casca de batata utilizando sistemas em batelada e coluna de leito fixo. **Revista Virtual Química**, v. 7, n. 6, p. 1909-1920, 2015.

BARBOSA, L. C. A. **Espectroscopia no infravermelho na caracterização de compostos orgânicos**. Viçosa: UFV, 2008. 189 p.

BHATTACHARYYA, K. G.; SARMA, A. Adsorption characteristics of the dye, brilliant green, on neem leaf powder. **Dyes and Pigments**, v. 57, n. 3, p. 211-222, 2003.

BRASIL. Resolução 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 maio, 2011, p. 89.

CASTRO, B. *et al.* Remoção do corante têxtil violeta reativo 5 utilizando bagaço de cana-de-açúcar nas formas bruta e ativada. *In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE ADSORÇÃO*, 10, 2014. Guarujá. **Anais eletrônicos...** Guarujá: UNIFESP, 2014.

CARVALHO, A. *et al.* **Bioquímica da beleza**. 2005. Disponível em: <https://bit.ly/2P8iCRL>. Acesso em: set. 2018.

CHIARAMONTE, R. C.; CALHEIRO, D. Proposta de um plano de gerenciamento de resíduos sólidos em um salão de beleza da cidade de São Leopoldo/RS. *In: FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS*, 7, 2016, Porto Alegre/RS. **Anais...** Porto Alegre, 2016.

DAMASCENO, O. I. C. D. **Remoção de corantes em solução aquosa e efluentes de indústrias têxteis através de adsorção em cabelo humano**. 2008. 85p. Dissertação (Pós-graduação, título de *Magister Scientiae*) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

DOTTO, G. L. *et al.* Remoção dos corantes azul brilhante, amarelo crepúsculo e amarelo tartrazina de soluções aquosas utilizando carvão ativado, terra ativada, terra diatomácea, quitina e quitosana: estudos de equilíbrio e termodinâmica. **Química Nova**, v. 34, n. 7, p. 1193-1199, 2011.

ELMORSI, T. M. Equilibrium isotherms and kinetic studies of removal of methylene blue dye by adsorption onto miswak leaves as a natural adsorbent. **Journal of Environmental Protection**, v. 2, n. 6, 817-827, 2011.

ERDEM, I. Influence of Calcination Temperature on Microstructure and Surface Charge of Membrane Top Layers Composed of Zirconia Nanoparticles. **Journal of the Australian Ceramic Society**, v. 51, n. 1, p. 134-138, 2015.

FABRÍCIO, T. N. R. *et al.* Produção de biossurfactante e biodegradação no cultivo de *Geobacillus stearothermophilus* com corante Azul de Metileno. *In: V CONNEPI*, 2010, Maceió. **Anais[...]**, 2010.

FEBRIANTO, J. *et al.* Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: A summary of recent studies. **Journal of Hazardous Materials**, v. 162, p. 616-645, 2009.

GEANKOPLIS, C. J. **Transport processes and separation process principles**. [s. l.]: Prentice - Hall, 2003. 1026 p.

GOGLIO, C. R. M. B. R. **Aspectos e impactos ambientais gerados em salões de embelezamento**. 2008. Não paginado. Trabalho de conclusão de curso (Técnico em Meio Ambiente) - Colégio Barbosa Ferraz, Ivaiporã, Paraná, 2008.

HOLANDA, C. A. **Aguapé (*Eichhornia crassipes*) como bioadsorvente de corante turquesa remazol**. 2010. 105p. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2010.

HONORATO, A. C. *et al.* Biossorção de azul de metileno utilizando resíduos agroindustriais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 7, p. 705-710, 2015.

IUPAC. Manual of symbols and Terminology. **Pure Applied Chemical**, v. 31, p. 578, 1972.

JADHAV, A. S. Study of adsorbtion of oil from oily water using human hair. **International Journal of Advanced Engineering Technology**, v. 2, n. 2, p. 37-51, 2011.

LANGMUIR, I. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. **Journal of American Chemical Society**, v. 40, n. 9, p. 1361-1403, 1918.

LARA, A. G. **Metodologia para análise na perícia criminal de micro vestígios forenses: fios de cabelo**. 2016. 66p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

LIN, C. C.; LIU, H. S. Adsorption in a centrifugal field: basic dye adsorption by activated carbon. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 39, n. 1, p. 161-167, 2000.

LOPES, M. S. **Remoção do corante azul reativo 19 por adsorção em carvão ativado e em lama vermelha nas formas naturais e tratadas por ozônio**. 2017. 129p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2017.

NASCIMENTO, D. M. *et al.* **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.

PEIXOTO, F.; MARINHO, G.; RODRIGUES, K. Corantes têxteis: uma revisão. **Holos**, Ceará, v. 5, ano 29, 2013.

PIMENTEL, J. G. *et al.* Estudo adsortivo do corante alaranjado de metila em carvões ativados obtidos a partir de resíduos da agroindústria. *In: XXXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS*, 2015, São Carlos. **Anais[...]** São Carlos, 2015.

RAFATULLAH, M. *et al.* Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: a review. **Journal of Hazardous Materials**, v. 177, p. 70-80, 2010.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução 355, 13 de julho de 2017. Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. **Diário Oficial do Estado**, Secretaria do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 19 jul. 2017.

ROCHA, O. R. S. *et al.* Avaliação do processo adsorptivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante cinza reativo BF-2R. **Química Nova**, v. 35, n. 7, p. 1369-1374, 2012.

SILVA, E. M. **Caracterização físico-química e termoanalítica de amostras cabelo humano**. 2012. 112p. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SILVA, W. L. *et al.* Photocatalytic degradation of rhodamine B, paracetamol and diclofenac sodium by supported titania-based catalysts from petrochemical residue: effect of doping with magnesium. **Water Science & Technology**, v. 74.10, p. 2370-2383, 2016.

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D. J. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2007.

SUGANTHI, K. S.; RAJAN, K. S. Effect of Calcination Temperature on the Transport Properties and Colloidal Stability of ZnO-water Nanofluids. **Asian Journal of Scientific Research**, p. 207-217, 2012.

UKOTIJE-IKWUT, P. R. *et al.* A Novel Method for Adsorption using Human Hair as a Natural Oil Spill Sorbent. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, v. 7, n. 8, p. 1754-1764, 2016.

ZAINI, M. A. A.; SUDI, R. M. Valorization of human hair as methylene blue dye Adsorbents. **Green Processing and Synthesis**, v. 7, n. 4, p. 344-352, 2017.