



UTILIZAÇÃO DE BIOCÁRVÃO COMO MATERIAL ADSORVENTE DE AZO CORANTE PRESENTE EM EFLUENTE TÊXTIL

Karina Lunelli⁽¹⁾

Mestra em Engenharia Civil, na linha de pesquisa de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).

Tiago José Belli⁽²⁾

Doutor em Engenharia Ambiental, na linha de pesquisa de Tratamento de Águas e Efluentes Domésticos, Industriais e Agropecuários, pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Eduardo Bello Rodrigues⁽³⁾

Doutor em Engenharia Ambiental, na linha de pesquisa de Tratamento de Águas e Efluentes Domésticos, Industriais e Agropecuários, pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Emerson Souza⁽⁴⁾

Mestre em Engenharia Ambiental, na linha de pesquisa de Tratamento de Águas e Efluentes Domésticos, Industriais e Agropecuários, pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Endereço⁽¹⁾: Rua Dr. Getúlio Vargas, 2822 – Bela Vista - Ibirama – Santa Catarina - CEP: 89148-000 - Brasil
- Tel: +55 (47) 3357-8484 - e-mail: lunellikari@gmail.com.

RESUMO

No setor têxtil, estima-se que até 50% do corante aplicado no processo de tingimento pode ser perdido durante o estágio de lavagem dos tecidos. Por se tratar de um composto tóxico, há certa limitação no uso de tratamentos biológicos, o que pode demandar uma alternativa adicional para a remoção satisfatória desse composto. Dentre as possibilidades, a adsorção é uma técnica que vem recebendo maior atenção, sobretudo quando utilizado com materiais residuais. Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o uso de biocarvão gerado a partir da biomassa de resíduos florestais para a adsorção de azo corante RBV-5R, associado ao processo de filtração por membranas. Tal investigação foi conduzida empregando diferentes concentrações de biocarvão (0; 0,5; 1; 5; 10; e 20 g L⁻¹), tanto na forma granular quanto em pó. O efluente foi submetido a ensaios de microfiltração como alternativa à retenção do biocarvão. O biocarvão em pó se mostrou mais eficiente frente ao granular, atingindo remoção máxima sob concentração de 10 g L⁻¹. O emprego do biocarvão em pó resultou em melhor filtrabilidade, tendo em vista que a permeabilidade nesse caso foi 2 vezes maior em comparação a permeabilidade obtida no ensaio com biocarvão granular.

PALAVRAS-CHAVE: biocarvão, remoção de corante, microfiltração.

INTRODUÇÃO

O setor têxtil é caracterizado, entre outros aspectos, pela grande quantidade de água utilizada dentro da indústria, principalmente na etapa de beneficiamento, responsável por diversos processos, como: alvejamento, tinturaria e estamparia das fibras. O alto consumo de água se dá pela sua utilização como meio de transporte de produtos químicos adicionados durante o processo, bem como para remoção de impurezas ou produtos indesejáveis em excesso (ERKAN *et al.*, 2020; REGO, 2008). Zhang *et al.* (2020) estimam que, para cada tonelada de tecido fabricado, o consumo de água fica na faixa de 21 a 377 m³.

Devido à quantidade de químicos e aditivos utilizados, os efluentes têxteis são identificados pelo alto teor de compostos orgânicos e diversos poluentes de difícil biodegradabilidade, resultando em altas concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). Além disso, apresentam uma forte coloração, ocasionada pela presença de corantes que não se fixam adequadamente às fibras, visto que 10 a 20% da parcela de corante aplicada é perdida durante a etapa de lavagem (KIANI *et al.*, 2020; QUEIROZ *et al.*, 2016).

Conseqüentemente, se lançado indevidamente no corpo hídrico, os efluentes podem causar alterações nas propriedades físicas, químicas e/ou biológicas da água, ocasionando problemas de saúde pública e perda da biodiversidade (YUKSELER *et al.*, 2017).

A presença de corantes em efluentes têxteis tornou-se uma preocupação ecológica, por tratar-se de um composto tóxico. Sendo assim, há a limitação do uso de tratamentos biológicos, uma vez que culturas de microrganismos

podem ser perturbadas devido à toxicidade do corante, além da baixa eficiência de remoção quando tratado em processos convencionais (GILPAVAS; DOBROSZ-GÓMEZ; GÓMEZ-GARCÍA, 2019).

Dessa forma, é necessária a aplicação de tecnologias de tratamento que garantam segurança ao meio ambiente no despejo desse efluente no corpo hídrico e que tenham bons índices de remoção de corante e outros poluentes. Muitas vezes, atrelado a isso, surgem tratamentos que demandam alta capacitação do corpo técnico, alto custo e complexidade do processo, inviabilizando-os (YUKSELER *et al.*, 2017).

Uma das tecnologias para tratamento de efluentes é a adsorção, uma técnica relativamente fácil de ser aplicada e razoavelmente barata, que vem mostrando bons resultados na remoção de contaminantes, podendo alcançar altas eficiências de até 95% (LUNARDI, 2014; MARÍN, 2015). A adsorção consiste em um processo de transferência de massa, no qual o adsorvente, caracterizado pela massa sólida, remove constituintes dissolvidos de uma solução aquosa (adsorvato), atraindo o soluto na superfície do material adsorvivo, podendo ser classificada como uma técnica física ou química. Entretanto, a adsorção de poluentes depende da natureza do material adsorvente, como estrutura e porosidade, área superficial e tamanho da partícula, entre outros fatores (KAUSAR *et al.*, 2018).

Um material que vem sendo utilizado como adsorvente em soluções aquosas é o biocarvão, ou *biochar*, um produto criado a partir da pirólise controlada de uma biomassa. Inicialmente, o biocarvão era utilizado para remediação do solo, uma vez que sua composição é rica em carbono. Porém, sua utilização vem sendo cada vez mais recorrente na área de tratamento de efluentes, em virtude de diversas pesquisas com resultados promissores de remoção de poluentes com difícil biodegradabilidade (KUMAR *et al.*, 2016). O biocarvão pode ser de origem vegetal ou animal, tendo como exemplos os resíduos florestais, agrícolas e a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FAN *et al.*, 2017). Além disso, o biocarvão se caracteriza como um material com alta estrutura porosa, grande área superficial, grupos funcionais, fácil separação e baixo custo. Logo, o biocarvão emerge como alternativa interessante de ser utilizada como material adsorvente junto às estações de tratamento de efluentes (FAZAL *et al.*, 2020).

Contudo, processos adsorvivos aliados a outras técnicas de tratamento de águas residuárias requerem a separação entre a solução aquosa e o material adsorvente (SANTOS, 2013). Dentre as técnicas recentemente estudadas, o processo de separação por membranas vem recebendo crescente atenção (DEMBOGURSKI, 2019). Nesse processo, a solução aquosa é forçada contra a superfície da membrana, na qual as partículas do biocarvão ficam retidas, enquanto o efluente permeia por seus poros. Desse modo, o uso combinado da microfiltração ao processo adsorvivo do biocarvão emerge como uma alternativa promissora para a remoção de corantes presente em efluentes têxteis.

OBJETIVO

Avaliar a utilização de biocarvão como material adsorvente de azo corante presente em efluente têxtil sintético, associando o processo de microfiltração como técnica para retenção do biocarvão.

METODOLOGIA UTILIZADA

EFLUENTE TÊXTIL SINTÉTICO

O efluente têxtil sintético utilizado nos ensaios da pesquisa foi produzido no próprio laboratório, composto basicamente por fonte de carbono orgânico, macro e micronutrientes e o azo corante RBV-5R. As concentrações dos compostos utilizados na produção do efluente são apresentadas na Tabela 1 (Çinar *et al.*, 2008). O corante utilizado no estudo foi disponibilizado pela empresa DyStar Indústria e Comércio de Produtos Químicos LTDA, localizada na cidade de Apiúna/SC.

Tabela 1 – Composição do efluente têxtil sintético

Composto	Fórmula Química	Concentração (mg L ⁻¹)
Cloreto de Amônio	NH ₄ Cl	230
Bicarbonato de Sódio	NaHCO ₃	668
Fosfato Monopotássico	KH ₂ PO ₄	47
Sacarose	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	1.339
Cloreto de Sódio	NaCl	126
Azo Corante RBV-5R	C ₂₀ H ₁₆ N ₃ Na ₃ O ₁₅ S ₄	50
Cloreto de Ferro (III)	FeCl ₃ .6H ₂ O	1,25
Cloreto de Manganês	MnCl ₂ .4H ₂ O	0,12
Cloreto de Zinco	ZnCl ₂	0,01258

BIOCARVÃO

O material adsorvente utilizado nos ensaios desta pesquisa foi o biocarvão, resíduo gerado em uma termoeletrica instalada na cidade Lages-SC. O biocarvão é obtido a partir da pirólise da biomassa de resíduo florestal. As cinzas resultantes passam por um lavador de gases e são conduzidas ao pátio da usina, sendo armazenadas e, posteriormente, descartadas. As temperaturas do processo podem variar de 900 a 1.000 °C, produzindo um material com alto potencial de adsorção. O biocarvão em questão não é mais aproveitado durante o processo industrial, podendo ser classificado como um material residual de baixo custo passível de reutilização.

A composição físico-química do biocarvão foi determinada como sendo 76,4% de carbono, 2,38% de hidrogênio, 0,22% de enxofre e 0,16% de nitrogênio (HENNE, 2018). A Tabela 2 apresenta os valores médios da composição elementar química orgânica e inorgânica do referido material.

Tabela 2 – Composição elementar inorgânica e na forma de óxidos

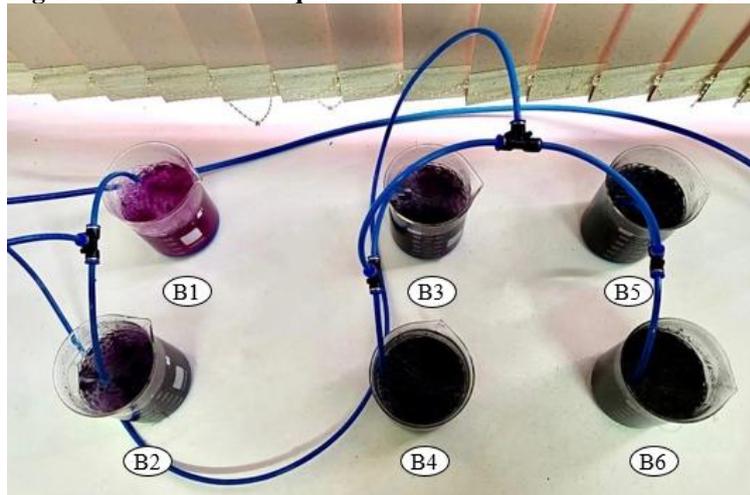
Composição elementar inorgânica		Composição elementar inorgânica na forma de óxidos	
Parâmetro	Valor médio (%)	Parâmetro	Valor médio (%)
Al	0,19	Al ₂ O ₃	0,39
Ca	0,42	CaO	0,59
Cr	0,00	Cr ₂ O ₃	0,00
Cu	0,002	CuO	0,003
Fe	0,129	Fe ₂ O ₃	0,16
K	0,22	K ₂ O	0,28
Mg	0,15	MgO	0,26
Mn	0,04	MnO	0,05
Na	0,0003	NaO ₂	0,0004
P	0,03	P ₂ O ₃	0,06
Pb	0,0001	PbO	0,0001
Si	3,32	SiO ₂	7,09
Zn	0,007	ZnO	0,004

ENSAIOS DE ADSORÇÃO

Para avaliar a eficiência da adsorção no biocarvão e assim estimar a remoção de cor verdadeira e corante, foram realizados testes em escala de bancada, empregando um sistema de 6 béqueres de 600 mL. Em cada béquer, foi transferido 500 mL do efluente têxtil sintético e adicionadas as concentrações de 0,5; 1; 5; 10; e 20 g L⁻¹ de biocarvão, respectivamente, deixando um béquer sem a adição do adsorvente (controle).

A mistura do efluente com o biocarvão foi promovida por meio de um dispositivo de aeração, garantindo assim uma mistura completa no interior dos béqueres. A Figura 1 apresenta a imagem do experimento e a Tabela 3 indica a concentração de biocarvão de cada béquer, bem como a sua forma de aplicação em cada estratégia operacional.

Figura 1 – Sistema de béqueres contendo o efluente têxtil e diferentes concentrações de biocarvão



*B1: sem biocarvão; B2: 0,5 g L⁻¹; B3: 1 g L⁻¹; B4: 5 g L⁻¹; B5: 10 g L⁻¹; B6: 20 g L⁻¹.

Tabela 3 – Estratégias operacionais e nomenclatura dos béqueres do sistema com a concentração de biocarvão aplicada

Estratégia Operacional				Forma do biocarvão	
E-1				Granular	
E-2				Em pó	
Concentração de biocarvão aplicada em cada béquer (g.L ⁻¹)					
B1	B2	B3	B4	B5	B6
0,0	0,5	1,0	5,0	10,0	20,0

Previamente aos ensaios de adsorção, foi realizada a secagem do biocarvão em Estufa de Laboratório Fanen Retilínea, com a temperatura entre 70 e 80 °C em um período de 24 horas. Após a secagem do biocarvão, foram separadas as amostras do biocarvão granular (BCG) utilizadas na E-1. Para obter o biocarvão em pó (BCP), adicionado na E-2, foi necessária realizar sua trituração com o auxílio de grau e pistilo. Em seguida, a fim de se ter uma homogeneidade na dimensão das partículas, o material triturado passou por um peneiramento simples, resultando no BCP final. Por fim, foi realizada a pesagem da massa de biocarvão utilizada nas duas estratégias em uma balança de precisão. Na Figura 2 é possível visualizar a diferença no aspecto do BCG e BCP.

Figura 2 – Biocarvão granular (BCG) e biocarvão em pó (BCP)

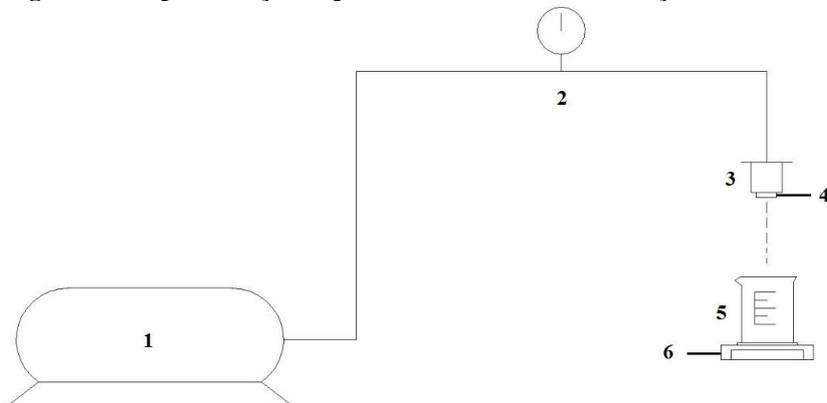


Cada estratégia foi analisada durante 24 horas de operação, em que alíquotas de cada béquer foram retiradas para caracterizar em termos de cor verdadeira e concentração de corante, nos tempos fixos de 0, 1, 2, 3, 7, 12 e 24 horas. A temperatura dos experimentos esteve sujeita a temperatura ambiente, medida por um termômetro digital, próxima a 22 ± 1 °C, enquanto o pH da mistura “biocarvão e efluente” foi de 6,6.

ENSAIOS DE FILTRAÇÃO

O ensaio de filtração é crucial para a separação entre a solução aquosa e o material adsorvente aplicado, quando há a associação da adsorção com outras técnicas para o tratamento de águas residuárias. Deste modo, foram realizados ensaios de bancada de filtração frontal em membrana, para avaliar a filtrabilidade da solução contendo o biocarvão e o efluente têxtil. Tais ensaios foram conduzidos em unidade experimental representada na Figura 3.

Figura 3 – Representação esquemática do ensaio de filtração



*1: Aerador; 2: Manômetro; 3: Sistema de filtração; 4: Membrana de acetato de celulose; 5: Béquer; 6: Balança analítica.

Uma unidade de filtração de acrílico com volume de 250 mL foi utilizada na execução dos ensaios. Para uma melhor interpretação dos resultados, os experimentos foram conduzidos em duas modalidades de filtração: 1) sem aplicação de biocarvão (apenas efluente têxtil) e; 2) com aplicação do biocarvão. Para essa última, foram testados tanto a utilização do BCG quanto o BCP.

Após o preenchimento da unidade de filtração, a solução era filtrada por uma membrana de acetato de celulose plana com porosidade de 0,20 μm e área superficial de 0,001 m^2 , sob vácuo de 0,1 bar. Para definir o tempo de ensaio, optou-se por iniciar o experimento com a filtração de 750 mL do efluente sem a aplicação de biocarvão, sendo que a cada 30 segundos registrava-se o volume filtrado e coletado por um béquero posicionado em uma balança analítica. O tempo resultante foi definido para o restante do ensaio.

Para avaliar o desempenho da filtração, calculou-se a permeabilidade da membrana em cada estratégia, dividindo-se o fluxo de filtração pela pressão aplicada.

MÉTODOS ANALÍTICOS

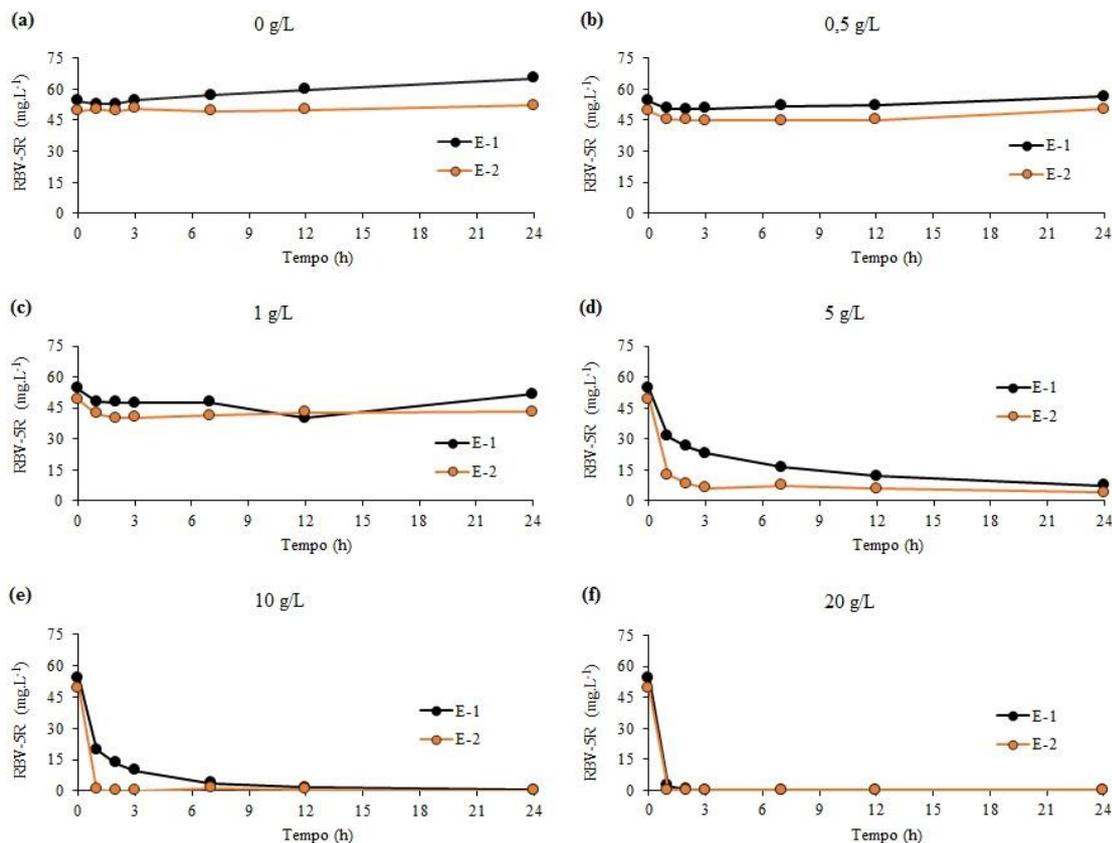
Para a determinação da concentração do corante, foram retiradas amostras de cada ensaio e submetidas à filtração em membrana de acetato de celulose com porosidade de 0,45 μm . Em seguida, o permeado obtido foi submetido à leitura de absorbância em Espectrofotômetro Hach modelo DR/3900. Utilizou-se o comprimento de onda de 560 nm, no qual o corante RBV-5R apresenta maior absorção na faixa visível do espectro.

RESULTADOS OBTIDOS, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

REMOÇÃO DE AZO CORANTE RBV-5R

A Figura 4 apresenta os valores da concentração de azo corante RBV-5R nos béqueres B1, B2, B3, B4, B5 e B6, nas estratégias operacionais E-1 (biocarvão granular) e E-2 (biocarvão em pó).

Figura 4 – Comportamento da concentração de azo corante RBV-5R nas duas estratégias operacionais nos béqueres B1 (a), B2 (b), B3 (c), B4 (d), B5 (e) e B6 (f)



Observa-se que o uso do biocarvão em pó resultou em maior quantidade de corante adsorvida para todos os ensaios. Este motivo é explicado pelo aumento da área superficial externa da partícula em pó quando comparado ao granular, potencializando sua capacidade adsorvente (DELGADO *et al.*, 2019). Dembogurski (2019) encontrou um aumento de até 40% da área superficial do carvão ativado em pó em relação ao granular, utilizado em seu estudo.

Nota-se que a partir da concentração de 5 g L⁻¹ de biocarvão adicionado (Figura 4-d), a concentração de corante na solução passa a diminuir de forma acentuada. Supõe-se que isso ocorra em virtude da quantidade de biocarvão presente nesse béquer ser suficiente para adsorver de maneira efetiva o corante dissolvido na solução.

No experimento B5 (Figura 4-e), fica evidente o maior desempenho do biocarvão em pó, em que logo na primeira hora de ensaio a concentração de corante reduziu de 49,3 para 0,7 mg L⁻¹, enquanto que no experimento com biocarvão granular a tal redução foi de 54,35 para 19,62 mg L⁻¹. Com a utilização do biocarvão granular, só foi possível chegar a uma concentração tão baixa de corante após 24h de ensaio (0,43 mg L⁻¹).

Já para o experimento B6 (Figura 4-f), com 20 g L⁻¹ de biocarvão adicionado, foi constatada a adsorção completa do azo corante tanto para o biocarvão granular quanto em pó. Contudo, a remoção total só foi obtida após 7 h com o biocarvão granular, enquanto que com o biocarvão em pó o tempo demandado foi de apenas uma hora. Dessa forma, infere-se que a utilização do biocarvão em forma de pó é a mais indicada, devido ao aumento de sua área superficial (DEMBOGURSKI, 2019). Com esse aumento, a disponibilidade de sítios ativos para adsorver os poluentes presentes no efluente também é maior, no que faz com que o BCP necessite de uma menor concentração aplicada em relação ao BCG e obtenha percentuais de eficiência superiores.

A quantidade adsorvida do azo corante por grama de biocarvão, bem como a eficiência de adsorção do RBV-5R são apresentadas na Tabela 4. Os valores da concentração do corante considerados no cálculo são relativos

ao final do ensaio de adsorção, no tempo de 24 horas; as concentrações iniciais do corante na E-1 e E-2 foram de 54,35 e 49,33 mg L⁻¹, respectivamente; e a concentração de biocarvão foi utilizada nos béqueres B2 ao B6.

Tabela 4 – Quantidade adsorvida por grama de biocarvão e a eficiência de adsorção do RBV-5R nas duas estratégias operacionais

Estratégia	Quantidade adsorvida de RBV-5R por grama de biocarvão (mg g ⁻¹)				
	Concentração de biocarvão (g.L ⁻¹)				
	B2 0,5	B3 1,0	B4 5,0	B5 10,0	B6 20,0
E-1	-4,14	2,81	9,38	5,39	2,72
E-2	-1,70	6,20	9,02	4,93	2,47
Estratégia	Eficiência de adsorção do azo corante RBV-5R (%)				
	Concentração de biocarvão (g L ⁻¹)				
	B2 0,5	B3 1,0	B4 5,0	B5 10,0	B6 20,0
E-1	-3,81	5,17	86,27	99,21	100,00
E-2	-1,72	12,57	91,43	100,00	100,00

Observa-se que a utilização do BCP resultou em uma maior eficiência em todas as condições experimentais avaliadas. Vale salientar que apenas no B2, com concentração de 0,5 g L⁻¹ de biocarvão, a eficiência foi negativa, ou seja, a concentração final do corante RBV-5R foi maior que a inicial, devido ao processo de recoloração. Ademais, a eficiência no B3 não foi satisfatória, sendo que o maior percentual foi alcançado na E-2, com 12,57%.

Nota-se que a maior a quantidade adsorvida de corante relação foi sob a concentração de biocarvão de 5 g L⁻¹, tanto granular (E-1) como em pó (E-2). A partir disso, infere-se que essa seja a concentração ótima de biocarvão que resulte em uma maior massa de corante adsorvido por massa de biocarvão utilizado. Contudo, ressalta-se que sob a concentração de 5 g L⁻¹, não foi possível assegurar a adsorção total do corante analisado (Figura 12-d), tanto para o BCG quanto para o BCP.

Por outro lado, o experimento com as concentrações de 10 e 20 g L⁻¹ foram aqueles capazes de garantir total adsorção do corante presente no efluente. Sendo assim, a utilização ideal do biocarvão aplicado na unidade experimental é de 10 g L⁻¹, com as características empregadas na E-2, utilizando o BCP, no qual apresentou uma cinética de adsorção altamente eficiente, com uma menor concentração de biocarvão adicionada.

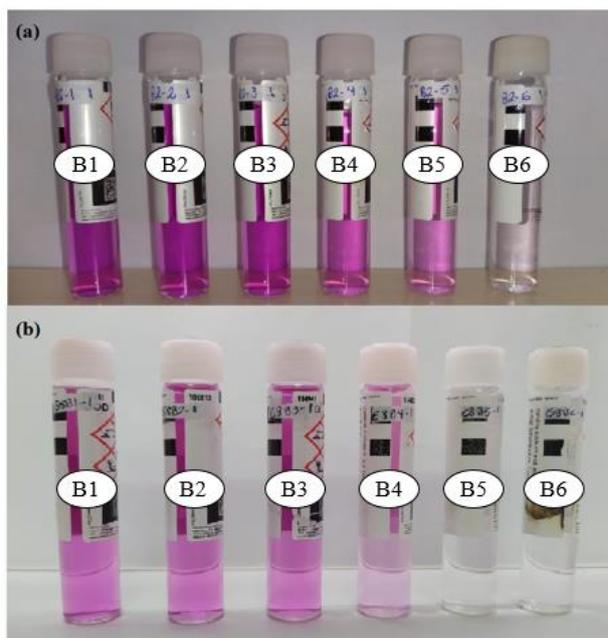
Gokulan *et al.* (2020) analisaram a adsorção do RBV-5R a partir do BCG derivado de algas, obtendo maior eficiência de adsorção (85%) também sob concentração de 10 g L⁻¹. No estudo, os autores analisaram apenas a capacidade adsorvida do carvão granular.

Rápó *et al.* (2019) também estudaram o comportamento da adsorção do RBV-5R, mas utilizando biocarvão a partir da calcinação da casca do ovo, em que obtiveram uma eficiência de adsorção de 96,86% para a concentração de 1,5 g L⁻¹. Pessoa (2019), por sua vez, verificou a eficiência de adsorção utilizando biocarvão a partir do endocarpo do açaí, para adsorção do corante azul de metileno, obtendo eficiência de 92% com a concentração de BCG de 4 g L⁻¹.

É importante salientar que esses estudos obtiveram maiores eficiências de adsorção de corante utilizando menores concentrações de biocarvão por se tratar de soluções aquosas contendo apenas corante, diferentemente da presente pesquisa, que além do corante, continha também na solução outros compostos, como glicose (matéria orgânica), nitrogênio amoniacal e fosfato. Com isso, há a adsorção de todos os poluentes presentes no efluente, diminuindo a disponibilidade dos sítios ativos para a adsorção do corante, fazendo com que o processo de adsorção necessite de uma maior concentração de biocarvão para atingir altas eficiências. Tal cenário torna-se mais representativo, pois em condições reais de campo o efluente têxtil também apresenta outros poluentes que não apenas o corante.

O melhor desempenho do BCP quanto à remoção de corante pode ser observado também por seu aspecto visual, conforme imagem apresentada na Figura 5. Observa-se que as amostras referentes aos béqueres B5 e B6 da estratégia E-2 é praticamente incolor, enquanto que a amostra do béquer B6 da estratégia E-1 continua levemente rosado, indicando uma menor eficiência de remoção do corante com o BCG.

Figura 5 – Comparação das amostras filtradas após uma hora de operação na E-1 (a - biocarvão granular) e na E-2 (b – biocarvão em pó)

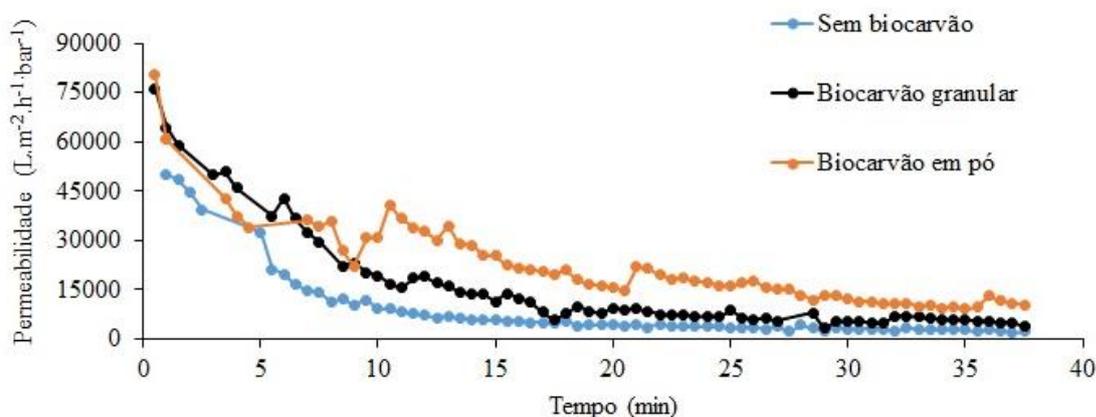


Com base nos resultados da remoção de corante, entende-se que a melhor concentração de aplicação do biocarvão é de 10 g L⁻¹. Com isso, para a realização do ensaio de filtração foi utilizada essa concentração tanto para a aplicação do BCG quanto do BCP.

ENSAIOS DE FILTRAÇÃO

Na Figura 6 é apresentado o perfil da permeabilidade nas três condições testadas: 1) sem biocarvão; 2) com biocarvão granular; e 3) com biocarvão em pó.

Figura 6 – Perfil da permeabilidade hidráulica nas três condições testadas



Verifica-se que em todas as estratégias a permeabilidade diminui de maneira mais acentuada no início e tende a um perfil de maior estabilidade com o decorrer do ensaio. De acordo com Cianci *et al.* (2005), essa queda inicial é esperada em processos de separação por membranas, sendo um perfil clássico em virtude da polarização da concentração. Além disso, ocorre o acúmulo da retenção de materiais na superfície da membrana, dificultando a passagem por seus poros.

Considerando apenas o período final do ensaio, as permeabilidades obtidas foram de 2.759, 5.444 e 10.965 L m⁻² h⁻¹ bar⁻¹ para as condições sem biocarvão, biocarvão granular e biocarvão em pó, respectivamente. Observa-se que o uso do BCP resultou em um valor mais alto de permeabilidade, sendo cerca de 4 vezes maior em relação filtração sem biocarvão e 2 vezes maior comparado ao experimento com BCG. Isso ocorre pelo fato do BCP adsorver uma maior quantidade de poluentes em sua superfície, diminuindo a quantidade de sólidos dissolvidos na solução e facilitando consequentemente o processo de filtração (DEMBOGURSKI, 2019).

CONSIDERAÇÕES SOBRE A DISPOSIÇÃO FINAL DO BIOCARVÃO

Com a utilização do processo de adsorção para o tratamento de efluente têxtil, poluentes tóxicos são aderidos nas partículas do biocarvão, configurando a geração de resíduos perigosos. Para minimizar os danos ambientais, duas alternativas para a destinação do material adsorvente podem ser consideradas.

Após o biocarvão ser separado da fase aquosa através do processo de separação por membranas, o mesmo pode ser encaminhado para empresas especializadas no tratamento de resíduos químicos ou ao aterro industrial. Outra opção, é aplicar o processo de dessorção a partir de solventes, para a regeneração do biocarvão. Entretanto, Dembogurski (2019) relata que sua regeneração não é facilmente encontrada na literatura científica, dada a dificuldade de regenerar partículas pequenas. Além disso, Lima *et al.* (2017) mencionam que após a lavagem e tratamento térmico, a eficiência do material chega a 60%.

Logo, visto a perda da eficiência do material, entende-se que a dessorção pode não ser a melhor alternativa, pois há o custo de aplicação dos solventes utilizados durante o processo e a geração de efluentes líquidos. Ainda, como o biocarvão é encontrado em quantidade abundante e de baixo custo, opta-se por não reutilizar o material.

CONCLUSÕES

Com base nos dados obtidos através dos ensaios realizados no decorrer do trabalho, conclui-se que:

- A aplicação do biocarvão gerado a partir da biomassa de resíduos florestais se mostrou uma ótima alternativa para adsorver o azo corante RBV-5R, comprovando que é possível realizar a adsorção de poluentes tóxicos através do uso de um subproduto industrial;
- Concentrações de biocarvão abaixo de 5 g L⁻¹ saturaram rapidamente, permitindo o surgimento do processo de recoloração;
- A maior adsorção por grama de biocarvão ocorreu com a concentração de 5 g L⁻¹, tanto para o biocarvão granular quanto para o em pó. Contudo, o tempo de operação não foi suficiente para a remoção completa do azo corante;
- Comparando os resultados obtidos nas duas estratégias, a aplicação do BCP se mostrou mais efetiva, alcançando percentuais de adsorção mais altos em todos os experimentos analisados;
- As concentrações de 10 e 20 g L⁻¹ dos experimentos com biocarvão em pó atingiram 100% de eficiência de remoção do corante logo nas primeiras horas de ensaio. Com isso, constatou-se que a aplicação ideal da concentração do biocarvão em pó é de 10 g L⁻¹;
- O uso do biocarvão melhorou as condições de filtrabilidade do efluente, sobretudo para a condição do biocarvão em pó, na qual a permeabilidade foi duas vezes superior ao observado para o biocarvão granular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CIANCI, F. C. *et al.* Clarificação e concentração de suco de caju por processos com membranas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 25, n. 3, p. 579-583, set. 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612005000300030>.
2. ÇINAR, Ö. *et al.* Effect of cycle time on biodegradation of azo dye in sequencing batch reactor. *Process Safety And Environmental Protection*, v. 86, n. 6, p. 455-460, nov. 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2008.03.001>.

3. DELGADO, N. *et al.* *Pharmaceutical emerging pollutants removal from water using powdered activated carbon: study of kinetics and adsorption equilibrium.* *Journal Of Environmental Management*, v. 236, p. 301-308, abr. 2019. [Http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.116](http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.116).
4. DEMBOGURSKI, L. da S. *Remoção dos poluentes emergentes paracetamol e diclofenaco sódico por adsorção em carvão ativado em pó.* 2019. 63 f. TCC de graduação - Curso de Engenharia Química - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.
5. ERKAN, H. S. *et al.* *Performance evaluation of conventional membrane bioreactor and moving bed membrane bioreactor for synthetic textile wastewater treatment.* *Journal Of Water Process Engineering*, v. 38, p. 101631-101638, dez. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101631>.
6. FAN, S. *et al.* *Removal of methylene blue from aqueous solution by sewage sludge derived biochar: adsorption kinetics, equilibrium, thermodynamics and mechanism.* *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, v. 5, n. 1, p. 601-611, fev. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2016.12.019>.
7. FAZAL, T. *et al.* *Integrating adsorption and photocatalysis: a cost effective strategy for textile wastewater treatment using hybrid biochar-tio2 composite.* *Journal Of Hazardous Materials*, v. 390, p. 121623-121637, mai. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121623>.
8. GILPAVAS, E.; DOBROSZ-GÓMEZ, I.; GÓMEZ-GARCÍA, M. *Optimization and toxicity assessment of a combined electrocoagulation, H₂O₂/Fe²⁺/UV and activated carbon adsorption for textile wastewater treatment.* *Science Of The Total Environment*, v. 651, p. 551-560, fev. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.125>.
9. GOKULAN, R. *et al.* *Experimental and chemometric analysis of bioremediation of remazol dyes using biochar derived from green seaweeds.* *Desalination and Water Treatment*, v. 184, p. 340-353, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.5004/dwt.2020.25339>.
10. HENNE, R. A. *Caracterização da formação e da composição das cinzas e dos problemas associados à combustão da biomassa florestal em caldeira.* 2018. 114 f. Dissertação de mestrado - Curso de Engenharia Florestal - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2018.
11. KAUSAR, A. *et al.* *Dyes adsorption using clay and modified clay: a review.* *Journal Of Molecular Liquids*, v. 256, p. 395-407, abr. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2018.02.034>.
12. KIANI, R. *et al.* *Real textile wastewater treatment by a sulfate radicals-Advanced Oxidation Process: peroxydisulfate decomposition using copper oxide (cuo) supported onto activated carbon.* *Journal Of Water Process Engineering*, v. 38, p. 101623-101630, dez. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101623>.
13. KUMAR, A. *et al.* *Production and Utilization of Biochar From Organic Wastes for Pollutant Control on Contaminated Sites.* In: PRASAD, M. N. V.; SHIH, K. (ed.). *Environmental Materials And Waste: Resource Recovery and Pollution Prevention*: Academic Press, 2016. p. 91-116. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-803837-6.00005-6>.
14. LIMA, L. S. *et al.* *Recuperação e reaproveitamento da mistura de carvão ativado e terras diatomáceas usada em processos de purificação de xaropes.* *Revista Virtual de Química*, v. 9, p. 1853-1867, 2017.
15. LUNARDI, L. M. *Remoção de corantes têxteis por adsorção com pó de serragem de pinus sp.* 2014. 54 f. TCC de graduação - Curso de Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014.
16. MARÍN, S. L. A. *Remoção dos corantes têxteis C.I Reactive Blue 203 e C.I Reactive Red 195 mediante o uso de bagaço de maçã como adsorvente.* 2015. 153 f. Dissertação de mestrado - Curso de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.

17. PESSÔA, T. S. Caracterização e aplicação de biocarvão obtido a partir do endocarpo do açaí para adsorção de corantes têxteis. 2019. 74 f. Dissertação de mestrado - Curso de Engenharia Química - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.
18. QUEIROZ, M. T. A. *et al.* Gestão de resíduos na indústria têxtil e sua relação com a qualidade da água: Estudo de caso. *Iberoamerican Journal Of Industrial Engineering*, Florianópolis, v. 8, n. 15, p. 114-135, 2016.
19. RÁPÓ, E. *et al.* Adsorptive Removal of Remazol Brilliant Violet-5R Dye from Aqueous Solutions using Calcined Eggshell as Biosorbent. *Acta Chimica Slovenica*, v. 66, n. 3, p. 648-658, 18 set. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.17344/acsi.2019.5079>.
20. REGO, E. B. M. Fotodegradação de soluções de laranja II e efluentes da indústria têxtil por camadas de TiO₂ e ZnO, serigrafadas em peças cerâmicas. 2008. Dissertação de mestrado - Engenharia dos Materiais - Universidade de Aveiro, Aveiro, 2008.
21. SANTOS, L. S. Avaliação do desempenho de um biorreator com membranas aeróbio com adição de carvão ativado em pó no tratamento de vinhoto. 2013. Dissertação de mestrado - Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
22. YUKSELER, H. *et al.* Analysis of the best available techniques for wastewaters from a denim manufacturing textile mill. *Journal Of Environmental Management*, v. 203, p. 1118-1125, dez. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.041>.
23. ZHANG, J. *et al.* Evaluation of direct contact membrane distillation coupled with fractionation and ozonation for the treatment of textile effluent. *Journal Of Water Process Engineering*, p. 101789-101799, nov. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101789>.