



## APLICAÇÃO DE BIOCHAR MAGNÉTICO PARA A DEGRADAÇÃO DE AZUL DE METILENO POR PROCESSOS DE OXIDAÇÃO AVANÇADA

Hansel David Burgos Melo<sup>1</sup>

João Carlos Alves Macedo<sup>2</sup>

Juliana Souza-Araujo<sup>3</sup>

Daniele Frascareli<sup>4</sup>

Erik Sartori Gontijo<sup>5</sup>

André Henrique Rosa<sup>6</sup>

### Reaproveitamento, Reutilização e Tratamento de Resíduos

#### *Resumo*

O uso de corantes orgânicos em algumas atividades industriais e sua má disposição final tem causado impactos negativos no recurso hídrico, despertando interesse para seu tratamento e busca de tecnologias viáveis para essa finalidade. Por esse motivo, esta pesquisa objetivou avaliar uma a reutilização de resíduos agrícolas na remediação de água contaminada por substâncias potencialmente tóxicas. Desta forma, foram sintetizados três tipos de Biochar (BC) com impregnação de ferro (BC-Fe), e aplicados em um processo de degradação de azul de metileno (AM) em soluções aquosas por meio de Processos Oxidativos Avançados com radicais sulfato (POA-RS). As interações entre os efeitos de forma individual e combinados (A: massa de BC-Fe, B: Concentração de PS, C: pH, D: temperatura de pirolises, E: temperatura experimental, F: tempo de degradação e G: concentração de Fe no BC-Fe) utilizando um desenho fatorial fracionado (fractional factorial design, FFD). Observou-se que F, C, D e A foram fatores muito importantes para a degradação do corante. O pH demonstrou ser um efeito negativo, o qual em certas condições pode diminuir consideravelmente as eficiências. Os resultados mostraram que o tempo de degradação tem a maior relevância de todos os fatores estabelecidos, conseguindo eficiências de até 99,8% em 120 min com os demais fatores otimizados e de 80% quando os fatores estão ao mínimo.

**Palavras-chave:** Remediação; Tratamento; Desenho fatorial fracionado, Corante; Reutilização.

---

<sup>1</sup>Aluno do Curso de Mestrado em Ciências Ambientais - Instituto de Ciência e Tecnologia - UNESP, hdburgosm@udenar.edu.co

<sup>2</sup>Aluno do Curso de Doutorado em Ciências Ambientais - Instituto de Ciência e Tecnologia - UNESP, j.macedo@unesp.br

<sup>3</sup>Pós-doutoranda em Ciências Ambientais - Instituto de Ciência e Tecnologia - UNESP, j.araujo.bio@gmail.com

<sup>4</sup> Pós-doutoranda em Ciências Ambientais - Instituto de Ciência e Tecnologia - UNESP, dani.frascareli@hotmail.com

<sup>5</sup> Pós-doutorando em Ciências Ambientais - Instituto de Ciência e Tecnologia - UNESP, sartori\_jg@hotmail.com

<sup>6</sup> Professor no Instituto de Ciência e Tecnologia - UNESP, andre.rosa@unesp.br

## INTRODUÇÃO

Os corantes orgânicos têm a característica de apresentarem cores fortes e, alguns, podem ser altamente tóxicos. São usados principalmente em uma variedade de produtos industriais, tais como em papel, têxteis, couro, como também na indústria farmacêutica, onde aproximadamente 15% deles vão para o efluente líquido (LI et al., 2012). O pigmento AM é um tipo de pigmento catiônico e é comumente usado na indústria têxtil (KARTHI et al., 2022). A água poluída com corantes apresenta dificuldades para descolorar e sofrer processos de biodegradação, devido por seu alto cromatismo e sua forte propriedade de absorção da luz (FAN et al., 2009). Conseqüentemente, isto permite a redução da penetração da radiação solar na água, o qual pode provocar uma alteração das atividades fotossintéticas, alterando assim o equilíbrio natural da flora e fauna (MASHKOOR et al., 2018).

Diferentes tecnologias têm sido propostas para o tratamento de xenobióticos em águas poluídas, como a adsorção (SINGH et al., 2019), oxidação avançada (KANAKARAJU; GLASS; OELGEMÖLLER, 2018), degradação fotocatalítica (OCHOA-GUTIÉRREZ et al., 2018), processos de precipitação (ADYANI; SOLEIMANI, 2019), filtração por membrana e tratamentos biológicos (COLLIVIGNARELLI et al., 2019), entre outros. No entanto, a maioria destes procedimentos tem valores econômicos elevados, são lentos, ineficientes, consomem muita energia e geram subprodutos tóxicos (HAN et al., 2022).

Nas últimas décadas, devido ao rápido desenvolvimento da agroindústria em todo o mundo, uma grande quantidade de resíduos tem sido gerada, tornando-se uma fonte de preocupação ambiental. Em virtude disto, criou-se a oportunidade de reintrodução destes resíduos no ciclo de produção, por exemplo, por meio de sua transformação em biocarvão ou biochar (QUÍÑONES; TEJADA; RUIZ, 2014) com a adição de metais (RONG et al., 2019a). No Brasil, o potencial para esse tipo de opção é relevante uma vez que o país representa o líder mundial na produção e na exportação de muitas culturas, como o café

Realização



Apoio



(PASETO, 2018). No entanto, ainda há dificuldades na gestão dos resíduos envolvidos, como é o caso da casca do café. A casca de café é responsável por cerca de 44% do peso fresco do fruto e o principal subproduto de seu processamento (MORENO CLAVIJO; ROMERO JIMÉNEZ, 2016). Por esse motivo, o objetivo deste trabalho foi determinar os diferentes processos que acontecem quando é usado o BC-Fe a base de casca de café como ativador do PS para o tratamento do azul de metileno.

## METODOLOGIA

### PREPARAÇÃO DO CATALIZADOR MAGNÉTICO

Resíduos do processamento de café (casca) da espécie *Coffea arabica* (Linnaeus, 1753) (Rubiaceae) produzidos na região Santo Antônio de Posse (SP), foram triturados num moinho de facas (Willey Mil - MA048) com rotação fixa de 1730 rpm e posteriormente peneirados (peneira de calibre 35 MESH), uma vez que o tamanho das partículas da biomassa é um parâmetro importante na produção de biochar, afetando diretamente o desempenho da pirólise (DEMIRBAS, 2005).

Para a fabricação do BC-Fe, foi empregada a técnica de Impregnação - Pirólise de uma etapa (FENG et al., 2021) com diferentes concentrações de Fe(II) (1%, 5,5% e 10% em m/m), usando  $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  como sal portadora de Fe(II). A biomassa pré-tratada foi pesada e colocada em cadinhos de porcelana para seu respectivo processo de pirólise num forno tipo mufla com ausência de oxigênio (RONG et al., 2019a) a temperaturas de 500°C, 600°C e 700°C. As condições de processamento térmico seguiram uma taxa de aquecimento de 5°C min<sup>-1</sup> (CARRIER et al., 2012).

Depois que a pirólise for concluída, o forno esfriou até a temperatura ambiente, durante um período de 12 horas. Os BC-Fe foram lavados com uma solução 0,1 mol L<sup>-1</sup> de HCl, filtrados e deixados secar num forno com presença de oxigênio até eliminar a presença de água. Por último, foram pesados para calcular o rendimento de produção.

Realização

Apoio

## DESENHO EXPERIMENTAL

O Desenho Experimental Fracionado (FFD) oferece opção para ponderar e quantificar a relevância dos fatores examinados e avaliar possíveis interações entre aqueles com um número mínimo de experimentos (SAMADI-MAYBODI; SADEGHI-MALEKI, 2016; STEINLE et al., 2000). Mediante isto, para determinar os fatores que afetam os processos de descoloração do AM, decidiu se trabalhar com o software estatístico Design – Expert (Versão: 13.0.5.0), o qual proporciona resultados adequados para os sistemas por meio de um desenho experimental especial (MONTGOMERY, 2017), além de implementar um método de análise de variância (ANOVA) para estimar as interações e os efeitos dos fatores na degradação. Para isso, foram analisados 7 fatores com três ensaios no ponto central, como indica-se na Tabela 1.

Tabela 1. Fatores pesquisados para determinar sua influência na degradação de AM.

Variável	Fatores	Unidades	Níveis		
			Baixo	Meio	Alto
A	Massa de BC-Fe	g	0,5	0,75	1,0
B	Concentração de PS	mM	1,0	5,5	10,0
C	pH		2	6	10
D	Temperatura de pirolises	°C	500	600	700
E	Temperatura experimental	°C	25	37,5	50
F	Tempo experimental	min	15	67,5	120
G	Concentração de Fe	%	1	5,5	10

## TESTES DE ATIVIDADE CATALÍTICA

Os experimentos de degradação foram realizados com uma solução de Azul de Metileno de 10 mg L<sup>-1</sup>. O tratamento de degradação (POA) foi realizado em erlenmeyer de 250 mL, onde adicionou-se 200 mL da solução, ajustando o pH e adicionado o catalisador. Em seguida, foi adicionado o persulfato de potássio (PS) para iniciar a reação. Durante o processo de degradação, 3 mL foram tomados da solução de reação em tempos definidos. As amostras coletadas foram filtradas através de filtros de seringa de 0,22 µm e adicionado 15 µL de metanol para parar a reação de oxidação (LIANG et al., 2021). Por

Realização

Apoio

último, foi analisado as concentrações de AM utilizando um espectrofotômetro UV-VIS Femto 700-plus no comprimento de onda de 664 nm.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### RENDIMENTO DA PRODUÇÃO

Os resultados mostraram um decrescimento no rendimento atribuído pela destruição tanto da celulose como da hemicelulose (LEE et al., 2013; MONTERO et al., 2018; RAFIQ et al., 2016). Pode-se determinar que as diferenças entre as porcentagens de cada BC-Fe em diferentes temperaturas com relação a quantidade de Fe(II) impregnado, variou entre 2,8% (BC-Fe 500) e 2,5% (BC-Fe 700), devido as quantidades de ferro em peso adicionado para cada BC-Fe (RONG et al., 2019b). Com relação às porcentagens obtidas no rendimento, são possíveis comparar como os de (MONTERO et al., 2018) onde conseguiu eficiências máximas de 37% e 36%.

Tabela 2. Rendimento da produção de BC-Fe dependendo da temperatura de pirolises e concentração de Fe(II).

	Temperatura (°C)					
	500		600		700	
Ferro (% m/m)	1	10	5,5	1	10	
Produção (%)	33,6	36,4	35,6	32,3	34,8	

### DESENHO EXPERIMENTAL

#### ANOVA PARA O MODELO FATORIAL

De acordo com o desenho experimental testado, observou-se que o modelo apresentou uma resposta considerável no ensaio de degradação do AM ( $F=18,43$ ;  $p<0,0001$ ). Os valores de  $p>0,10$  indicam que os termos do modelo não foram significativos (KHAMPARIA; JASPAL, 2017), é assim que, todos os outros fatores

Realização

Apoio

também tiveram boas respostas, como suas interações, exceto a temperatura experimental. O  $R^2$  predito de 0,70 está em razoável concordância com o  $R^2$  ajustado de 0,77; ou seja, a diferença é inferior a 0,2. O grau de precisão mede a relação sinal-ruído. Uma razão maior que 4 é desejável, sendo para esta pesquisa uma proporção de 18,29 indica um sinal adequado, e por esse motivo, o modelo pode ser usado para navegar no espaço de desenho.

#### DESENHO FATORIAL FRACCIONADO

Em um modelo FFD, os efeitos de pouca relevância são distribuídos com de forma normal e têm a tendencia de estar próximo da reta no gráfico de probabilidade normal, enquanto que os efeitos significativos aparecem como dados atípicos (CHANG; TENG; ISMAIL, 2011). A Figura 1a mostra o gráfico de probabilidade normal dos efeitos de fatores e suas interações na descoloração do AM, sendo os principais: F (tempo experimental), C (pH), D (temperatura de pirolises) e A (massa de BC-Fe). Como secundários estão o G (concentração de Fe) e as interações CG (pH x concentração de Fe). Estes resultados foram ainda verificados com o Diagrama de Pareto (Figura 1b), onde o limite de Bonferroni é limite no qual os efeitos que sobrepassam são significativos (muito importantes). Os efeitos que estão entre o limite t e o limite de Bonferroni podem ser moderadamente significativos, e aqueles que estão por baixo do limite de t são insignificantes, podendo ser descartados (HU; WANG; LIU, 2016; LIANG et al., 2015). Desta forma, confirmou-se que o fator E (temperatura experimental) pode ser descartado, uma vez que os BC com metais têm a capacidade de iniciar a decomposição dos persulfatos em radicais sulfatos em temperatura ambiente (HUANG et al., 2021) e só tem maiores diferenciações quando é conseguida temperaturas maiores ou iguais a 50°C, além de precisar tempos de até 150h para conseguir eficiências elevadas (DOMINGUEZ et al., 2020). Desta forma, os efeitos fatoriais, de maior a menor impacto no processo de degradação são:  $F > C > D > A$ . Poderia ser considerado moderadamente os fatores principais G e B, e suas interações CG, AF, CD, CDG, BF e DF.

Realização

Apoio

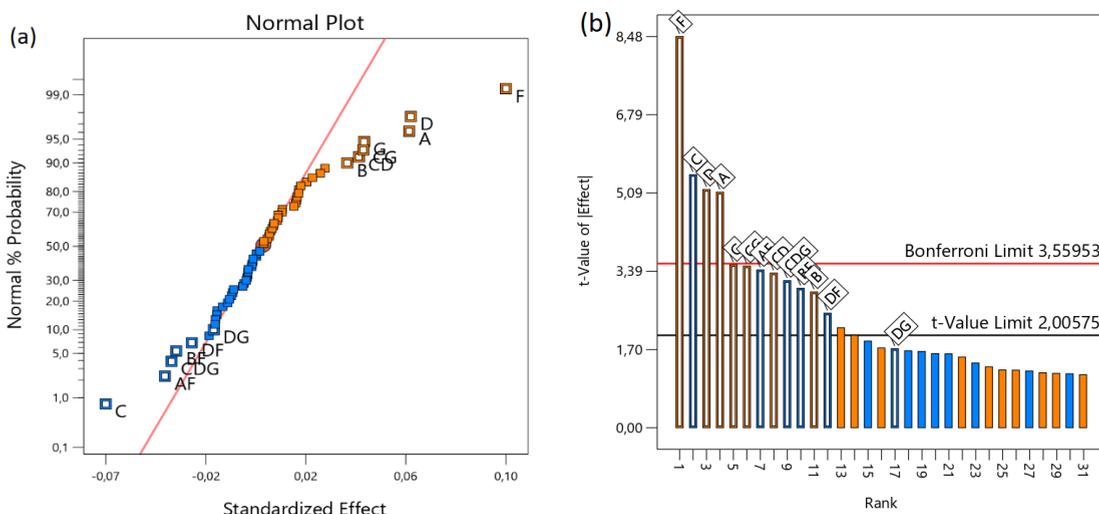


Figura 1. (a) Probabilidade normal e (b) Diagrama de Pareto. (A: massa de BC-Fe, B: Concentração de PS, C: pH, D: temperatura de pirolises, E: temperatura experimental, F: tempo experimental e G: concentração de Fe no BC-Fe).

Os efeitos na variação dos 7 fatores sobre as características do POA foram pesquisados por meio de um FFD  $2^{7-1}$ . Foi encontrado que as capacidades de degradação no sistema com níveis baixos (-) e altos (+) de diferentes fatores oscilam entre aproximadamente 80% (Figura 3a) e 99,8% (Figura 3b), respectivamente. Porém, quando todos os parâmetros estão ao mínimo, com exceção do pH (pH=10), consegue-se degradações de 62,1% (-) e 78% (+) (Figura 3c). Esta diminuição deve-se a influência do fator nos POAs, visto que em ambientes ácidos os radicais sulfato estão mais presentes (HUANG et al., 2021), além, em pH elevados pode afetar a especiação dos metais e a estrutura do poluente orgânico (WANG; WANG, 2018). Isto também é observado quando é feita uma comparativa entre os fatores mais importantes, F e C (Figura 3d), porque mesmo que tenham decorrido 120 min e como outros em (-) só é possível conseguir eficiências um pouco superiores ao 80%.

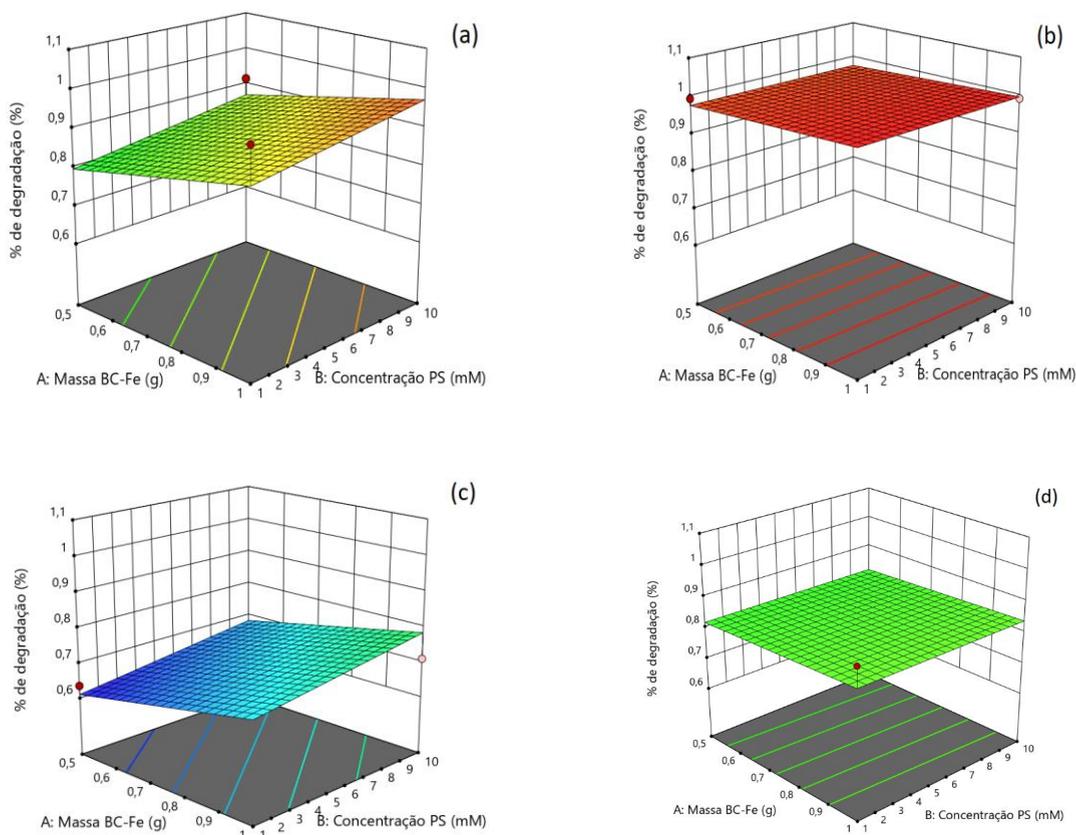


Figura 2. Modelo 3D de superfície. (a) pH=2, temperatura de pirolises=500°C, tempo experimental=15 min e concentração de Fe=1% p/p; (b) pH=10, temperatura de pirolises=700°C, tempo experimental=120 min e concentração de Fe=10% p/p; (c) pH=10, temperatura de pirolises=500°C, tempo experimental=15 min e concentração de Fe=1% p/p; (d) pH=10, temperatura de pirolises=500°C, tempo experimental=120 min e concentração de Fe=1% p/p;

### OPTIMIZAÇÃO DOS FATORES

O Método de Superfície de Resposta (response surface method, RSM) foi usado para determinar as condições ótimas das variáveis independentes (ŞENARAS, 2019), obtendo uma máxima descoloração do AM com um mínimo de tempo experimental. A otimização foi alcançada sob condições definidas usando o método de otimização numérica integrada no software Design-Expert. Desta forma, estabeleceu-se que com tempos experimentais inferiores aos 36 min e com os outros fatores é possível conseguir

Realização

Apoio

eficiências de descoloração aproximada de 81,79%. Isto pode ser comparado com outros tipos de BC impregnados com metais preparados para o tratamento de corantes orgânicos, os quais conseguiram tempos perto aos desta pesquisa (ANDREW LIN; HSU; LEE, 2015; PANG et al., 2018; TAO et al., 2018; YANG et al., 2015; ZHAO et al., 2018; ZHU et al., 2017).

## CONCLUSÕES

Um catalizador com impregnação de metal foi fabricado aproveitando os resíduos provenientes da cultura do café, por meio de processo simples de impregnação-pirolises, o qual demonstrou eficiências de degradação para o azul de metileno com tempos experimentais baixos. Os resultados preliminares indicam que o bioproduto preparado é promissor para a utilização visando o tratamento de corantes orgânicos em água. Além disso, a utilização da técnica RSM mostrou se adequada para definição das melhores condições para otimizar os processos em um POA-RS, diminuindo assim o número de testes, tempo e reativos empregados.

## AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, através do programa de Demanda Social (DS) por meio do processo número 8887.680119/2022-00; Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (2022/00985-6) e Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP 01.22.0290.00 (0080/21) por bolsas e suporte financeiro.

Realização



Apoio



## REFERÊNCIAS

- ADYANI, S. H.; SOLEIMANI, E. Green synthesis of Ag/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/RGO nanocomposites by Punica Granatum peel extract: Catalytic activity for reduction of organic pollutants. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 44, n. 5, p. 2711–2730, 28 jan. 2019.
- ANDREW LIN, K. Y.; HSU, F. K.; LEE, W. DER. Magnetic cobalt–graphene nanocomposite derived from self-assembly of MOFs with graphene oxide as an activator for peroxymonosulfate. **Journal of Materials Chemistry A**, v. 3, n. 18, p. 9480–9490, 28 abr. 2015.
- BEZERRA, M. A. et al. Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. **Talanta**, v. 76, n. 5, p. 965–977, 15 set. 2008.
- CARRIER, M. et al. Production of char from vacuum pyrolysis of South-African sugar cane bagasse and its characterization as activated carbon and biochar. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 96, p. 24–32, 1 jul. 2012.
- CHANG, S. H.; TENG, T. T.; ISMAIL, N. Screening of factors influencing Cu(II) extraction by soybean oil-based organic solvents using fractional factorial design. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 10, p. 2580–2585, 1 out. 2011.
- COLLIVIGNARELLI, M. C. et al. Treatments for color removal from wastewater: State of the art. **Journal of Environmental Management**, v. 236, p. 727–745, 15 abr. 2019.
- DEMIRBAS, A. Pyrolysis of ground beech wood in irregular heating rate conditions. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 73, n. 1, p. 39–43, 1 mar. 2005.
- DOMINGUEZ, C. M. et al. Thermally activated persulfate for the chemical oxidation of chlorinated organic compounds in groundwater. **Journal of Environmental Management**, v. 261, p. 110240, 1 maio 2020.
- FAN, J. et al. Rapid decolorization of azo dye methyl orange in aqueous solution by nanoscale zerovalent iron particles. **Journal of Hazardous Materials**, v. 166, n. 2–3, p. 904–910, 30 jul. 2009.
- FENG, Z. et al. Preparation of magnetic biochar and its application in catalytic degradation of organic pollutants: A review. **Science of the Total Environment**, v. 765, p. 142673, 15 abr. 2021.
- HAN, X.-W. et al. Construction of Ag/3D-reduced graphene oxide nanocomposite with advanced catalytic capacity for 4-nitrophenol and methylene blue. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 650, p. 128688, 5 out. 2022.
- HSU, J. C. et al. Evaluation of the multiple-ion competition in the adsorption of As(V) onto reclaimed iron-oxide coated sands by fractional factorial design. **Chemosphere**, v. 72, n. 7, p. 1049–1055, 1 jul. 2008.
- HU, X.; WANG, H.; LIU, Y. Statistical Analysis of Main and Interaction Effects on Cu(II) and Cr(VI) Decontamination by Nitrogen–Doped Magnetic Graphene Oxide. **Scientific Reports**, v. 6, 3 out. 2016.
- HUANG, W. et al. Activation of persulfates by carbonaceous materials: A review. **Chemical Engineering Journal**, v. 418, p. 129297, 15 ago. 2021.
- KANAKARAJU, D.; GLASS, B. D.; OELGEMÖLLER, M. Advanced oxidation process-

Realização

Apoio



mediated removal of pharmaceuticals from water: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 219, p. 189–207, 1 ago. 2018.

KARTHI, S. et al. Removal of methylene blue dye using shrimp shell chitin from industrial effluents. **Materials Today: Proceedings**, 3 jun. 2022.

KHAMPARIA, S.; JASPAL, D. Study of decolorisation of binary dye mixture by response surface methodology. **Journal of Environmental Management**, v. 201, p. 316–326, 1 out. 2017.

LEE, Y. et al. Characteristics of biochar produced from slow pyrolysis of Geodae-Uksae 1. **Bioresource Technology**, v. 130, p. 345–350, 1 fev. 2013.

LI, P. et al. An efficient and energy saving approach to photocatalytic degradation of opaque high-chroma methylene blue wastewater by electrocatalytic pre-oxidation. **Dyes and Pigments**, v. 92, n. 3, p. 923–928, 1 mar. 2012.

LIANG, J. et al. Investigating triazine-based modification of hyaluronan using statistical designs. **Carbohydrate Polymers**, v. 132, p. 472–480, 5 nov. 2015.

LIANG, S. et al. Facile synthesis of magnetic mesoporous silica spheres for efficient removal of methylene blue via catalytic persulfate activation. **Separation and Purification Technology**, v. 256, p. 117801, 1 fev. 2021.

MASHKOOR, F. et al. Exploring the Reusability of Synthetically Contaminated Wastewater Containing Crystal Violet Dye using Tectona grandis Sawdust as a Very Low-Cost Adsorbent. **Scientific Reports 2018 8:1**, v. 8, n. 1, p. 1–16, 29 maio 2018.

MONTERO, J. I. Z. et al. High efficiency removal of As(III) from waters using a new and friendly adsorbent based on sugarcane bagasse and corncob husk Fe-coated biochars. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 162, p. 616–624, 30 out. 2018.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. Ninth ed. Arizona: John Wiley & Sons, 2017.

MONTGOMERY, K.; LITTLE, J. M. Ethical thinking and stakeholders. **The Medical Journal of Australia**, v. 174, n. 8, p. 405–406, 1 abr. 2001.

MORENO CLAVIJO, N.; ROMERO JIMÉNEZ, A. A. Evaluación de diferentes métodos para la transformación de la pulpa de café en abono orgánico en fincas cafeteras. 15 jun. 2016.

OCHOA-GUTIÉRREZ, K. S. et al. A Novel Prototype Offset Multi Tubular Photoreactor (OMTP) for solar photocatalytic degradation of water contaminants. **Chemical Engineering Journal**, v. 341, p. 628–638, 1 jun. 2018.

PANG, Y. et al. Preparation and application of magnetic nitrogen-doped rGO for persulfate activation. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 30, p. 30575–30584, 1 out. 2018.

PANIĆ, S. et al. Optimization of thiamethoxam adsorption parameters using multi-walled carbon nanotubes by means of fractional factorial design. **Chemosphere**, v. 141, p. 87–93, 1 dez. 2015.

PASETO, L. A. **ESTRATÉGIAS DE COMPETITIVIDADE EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CAFÉ**. Campinas: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, 2018.

QUIÑONES, É.; TEJADA, C.; RUIZ, V. **Remediación de aguas contaminadas con cromo utilizando diferentes biomateriales residuales** *Revista Ciencias e Ingeniería al Día*. [s.l.]

Realização

Apoio

universidad de Cartagena, 2014.

RAFIQ, M. K. et al. Influence of Pyrolysis Temperature on Physico-Chemical Properties of Corn Stover (*Zea mays L.*) Biochar and Feasibility for Carbon Capture and Energy Balance. **PLOS ONE**, v. 11, n. 6, p. e0156894, 1 jun. 2016.

RONG, X. et al. The magnetic biochar derived from banana peels as a persulfate activator for organic contaminants degradation. **Chemical Engineering Journal**, v. 372, p. 294–303, 15 set. 2019a.

RONG, X. et al. The magnetic biochar derived from banana peels as a persulfate activator for organic contaminants degradation. **Chemical Engineering Journal**, v. 372, p. 294–303, 15 set. 2019b.

SAFDARI, M. S. et al. Heating rate and temperature effects on pyrolysis products from live wildland fuels. **Fuel**, v. 242, p. 295–304, 15 abr. 2019.

SAMADI-MAYBODI, A.; SADEGHI-MALEKI, M. R. In-situ synthesis of high stable CdS quantum dots and their application for photocatalytic degradation of dyes. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 152, p. 156–164, 5 jan. 2016.

ŞENARAS, A. E. Parameter optimization using the surface response technique in automated guided vehicles. In: **Sustainable Engineering Products and Manufacturing Technologies**. [s.l.] Academic Press, 2019. p. 187–197.

SINGH, N. K. et al. Biological wastewater treatment for prevention of River Water Pollution and Reuse: Perspectives and challenges. **Water Conservation, Recycling and Reuse: Issues and Challenges**, p. 81–93, 9 mar. 2019.

STEINLE, P. et al. Effect of environmental factors on the degradation of 2,6-dichlorophenol in soil. **Environmental Science and Technology**, v. 34, n. 5, p. 771–775, 2000.

TAO, X. et al. Activated carbon-supported cobalt molybdate as a heterogeneous catalyst to activate peroxymonosulfate for removal of organic dyes. **Applied Organometallic Chemistry**, v. 32, n. 12, p. e4572, 1 dez. 2018.

WANG, J.; WANG, S. Activation of persulfate (PS) and peroxymonosulfate (PMS) and application for the degradation of emerging contaminants. **Chemical Engineering Journal**, v. 334, p. 1502–1517, 15 fev. 2018.

YANG, B. et al. Facile synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/hierarchical-Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/graphene oxide as a synergistic catalyst for activation of peroxymonosulfate for degradation of organic pollutants. **RSC Advances**, v. 5, n. 27, p. 20674–20683, 23 fev. 2015.

ZHAO, X. et al. Seaweed-derived multifunctional nitrogen/cobalt-codoped carbonaceous beads for relatively high-efficient peroxymonosulfate activation for organic pollutants degradation. **Chemical Engineering Journal**, v. 353, p. 746–759, 1 dez. 2018.

ZHU, Z. et al. Magnetic Fe–Co crystal doped hierarchical porous carbon fibers for removal of organic pollutants. **Journal of Materials Chemistry A**, v. 5, n. 34, p. 18071–18080, 29 ago. 2017.

Realização

Apoio