

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDOS SOBRE A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS NA PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO QUIMICAMENTE COM FOCO NA REMOÇÃO DE AZUL DE METILENO

Viviana Parada Reina⁽¹⁾

Mestranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS), Engenheira Ambiental e Sanitarista (Universidad de La Salle – Colômbia).

Roberta Arlêu Teixeira

Doutoranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS), Mestre em Engenharia Civil (UFES) e em Tecnologias Sustentáveis (IFES), Engenheira Sanitarista e Ambiental (IFES).

Antônio Carlos de Oliveira Martins Júnior

Mestrando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS), Engenheiro Civil e Ambiental (UNIVALE).

Maria Cristina de Almeida Silva

Professora no IPH/UFRGS, Doutora e Mestra em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS), Engenheira de Bioprocessos e Biotecnologia (UERGS).

Antônio Domingues Benetti

Professor no IPH/UFRGS, Doutor em Engenharia Civil e Ambiental (Cornell University – EUA), Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS), Engenheiro Civil (UFRGS).

Endereço⁽¹⁾ : Av. Bento Gonçalves, 9500 – Prédio 44302 (Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Pesquisa e Extensão) – Agronomia – Porto Alegre – Rio Grande do Sul - CEP: 91501-970 - Brasil - Tel: +55 (51) 99915- 0710 - e-mail: vivi.par@hotmail.com

RESUMO

Este estudo compila informações de diferentes trabalhos realizados para produzir carvão ativado (CA), utilizando diferentes resíduos agroindustriais, adotando o método de ativação química para a remoção do azul de metileno (MB). O objetivo principal é avaliar as perspectivas de aproveitamento de diferentes tipos de resíduos agroindustriais por meio da produção de carvão ativado, comparando o desempenho dos carvões obtidos. Para seleção dos artigos avaliados, foi realizada uma busca no Portal de Periódicos da Capes, utilizando a base de dados *ScienceDirect*, considerando os descritores: “*agroindustrial waste*”, “*activated carbon*”, “*methylen blue*” e “*chemical adsorption*”. Foram selecionados apenas artigos produzidos dos anos de 2017 a 2020. Após a análise verificou-se que os carvões ativados derivados de resíduos agroindustriais são materiais adsorventes de boa qualidade, alcançando-se altas capacidades de adsorção do azul de metileno, sendo que os melhores desempenhos foram obtidos para resíduos de eucalipto, casca de mandioca, resíduos do processamento do bambu e do dendê, que são resíduos agroindustriais gerados em grande quantidade no Brasil. Desta forma, indica-se a realização de estudos de viabilidade que permitam a aplicação de tecnologias para a produção de carvão ativado junto às agroindústrias geradoras destes resíduos.

PALAVRAS-CHAVE: Azul de metileno, carvão ativado, resíduos agroindustriais.

INTRODUÇÃO

O termo carvão ativado (CA) é amplamente utilizado para descrever diferentes tipos de materiais carbonáceos que possuem uma grande área superficial e porosidade, além de grupos funcionais específicos que favorecem seu uso como adsorvente (RINCÓN, et al., 2015). Por ser um adsorvente extremamente eficiente, o CA é utilizado em diferentes aplicações, dentre estas, em processos de purificação e separação, como no tratamento de águas e gases, e na recuperação de materiais de indústrias de tintas, têxtil, dentre outras, na produção de materiais catalisadores e como meio suporte em diferentes processos (CHEREMISINOFF, 2002).

Apesar de sua ampla aplicação e alta eficiência, a utilização do carvão ativado ainda é restrita pelo seu alto custo, sendo uma demanda de diferentes setores, a busca por alternativas que reduzam o custo deste material (VIDAL, et al., 2018). Para que um material seja adequado na produção de carvão ativado, deve possuir um alto teor de carbono e baixos níveis de compostos inorgânicos em sua estrutura. Estas duas condições são preenchidas por resíduos sólidos agrícolas (cascas, sementes, madeiras e bagaço), ou mais conhecidos como resíduos agroindustriais (VIDAL, et al., 2018).

O carvão ativado obtido a partir de resíduos agroindustriais tem várias vantagens em termos de eficiência e custos quando é comparado aos mesmos materiais à base de carbono de fontes não renováveis, como o carvão mineral (VIDAL, et al., 2018). Ainda, devido às grandes quantidades destes resíduos geradas na agroindústria, esta destinação possibilitaria uma redução de custos no processo de produção do carvão ativado, além da valorização dos resíduos agroindustriais, que deixariam de ser destinados em aterros (ROSSOL, et al., 2012).

Ressalta-se que o Brasil é o maior produtor de resíduos agroindustriais do mundo, sendo que, nas principais culturas produzidas pelo país (soja, milho, cana-de-açúcar, café, arroz, laranja, coco, mandioca, banana, feijão e trigo) são geradas mais de 300 milhões de toneladas de resíduos anualmente (BRASIL, 2016). Em algumas culturas, o percentual de resíduos gerado chega a 80% da quantidade de matéria produzida (BRASIL, 2016). Ainda, pela Política Nacional de Resíduos Sólidos brasileira (BRASIL, 2010), alternativas de valorização de resíduos são primordiais, devendo-se optar pela destinação em aterros sanitários apenas quando for exaurida a capacidade de valorização.

Além da grande quantidade de matéria-prima disponível, a produção de carvão ativado no Brasil é favorecida ainda pela demanda, uma vez que atualmente, são poucas as Estações de Tratamento de Água (ETA), e de esgoto (ETE) que realizam o tratamento terciário, seja para remoção de gosto e odor (em águas de abastecimento), ou até mesmo para remoção de compostos emergentes (corantes, fármacos, pesticidas), o que é uma necessidade, tendo em vista os impactos ambientais e na saúde humana advindos destes poluentes. Ainda, a utilização do carvão ativado em tratamento de águas no Brasil, muitas vezes é pontual, apenas para remoção de gosto e odor das águas de abastecimento mediante a reclamação da população (PEREIRA; RODRIGUES, 2013).

Dentre os compostos emergentes que possam estar presentes em águas, os corantes têm se apresentado como um grande desafio a gestão em saneamento. Pelas características dos processos empregados nas indústrias têxteis, de couro, de tintas, os efluentes gerados são de complexo tratamento, pois apresentam coloração muito evidente em águas, seja em altas e baixas concentrações (DAVID NOEL; RAJAN, 2014). Além do aspecto visual, estes compostos são tóxicos, e quando em sistemas aquáticos, afetam diretamente os organismos, impedindo a penetração da luz solar, e limitando as atividades de fotossíntese do ecossistema (MARRAKCHI et al., 2017). Ainda, muitas vezes é realizada a descarga de efluente industriais com corantes de forma ilegal em águas captadas por ETA para o abatecimento, prejudicando o tratamento convencional (DAVID NOEL; RAJAN, 2014).

O azul de metileno (MB) é um dos corantes mais populares usados na tingimento de madeira, papel, algodão, lã ou seda, entre outros materiais (BAZAN-WOZNIAK; PIETRZAK, 2020). Estudos químicos mostraram que a molécula que possui azul de metileno é um composto aromático heterocíclico. As propriedades químicas das moléculas de MB possuem forte ligação com sólidos e costumam servir como um composto útil para a separação de corpos coloridos e compostos orgânicos incolores de várias misturas contaminadas (DANISH, et al. 2018).

Atualmente, o azul de metileno é um corante amplamente utilizado no processo de verificação inicial da eficiência de adsorção de um material. Segundo Aygün, Yeniso-y-karakas e Duman (2003) e Karaca et al. (2004), o seu uso se deve às características da molécula (como tamanho e grupos funcionais), facilidade de obtenção e de recuperação, possibilitando sua utilização em todas partes do mundo. Além disso, o índice de azul de metileno (IAM) é um parâmetro utilizado internacionalmente como determinante da capacidade de adsorção de um carvão ativado, não devendo ser inferior a 180 mg/g (BAÇAOU, et al., 2001).

OBJETIVO

Identificar, a partir de revisão bibliográfica, resíduos agroindustriais com alto potencial de utilização como matéria-prima para produção de carvão ativado visando a remoção de compostos emergentes, contribuindo no direcionamento de pesquisas futuras voltadas a este tema.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizadas as seguintes etapas:

1. **Definição do tema:** o tema principal da pesquisa foi definido como o uso de resíduos agroindustriais ativados pelo método químico e sua influência na síntese de carvão ativado para a remoção de azul de metileno. O método de ativação química foi escolhido devido ao maior desempenho, menor tempo de reação e menor necessidade de energia frente a ativação física (ISLAM et al., 2017). Já o corante de azul de metileno foi utilizado como base de comparação, uma vez que é considerado um composto modelo em testes de adsorção e indica a capacidade de adsorção de outros tipo de compostos emergentes, como fármacos, pesticidas, dentre outros.
2. **Busca de informações:** a revisão bibliográfica foi realizada a partir do Portal de Periódicos da Capes, utilizando a base dados *ScienceDirect* como universo de busca. Os descritores utilizados foram: “agroindustrial waste”, “activated carbon”, “methylen blue” e “chemical adsorption”, obtidos no banco de descritores COMPENDEX. Tendo em vista a obtenção de artigos relevantes atualmente, foram escolhido artigos publicado nos últimos quatro anos (2017 a 2020). Uma vez delimitados os parâmetros de busca, os artigos científicos selecionado foram encaminhados para posterior organização, síntese e análise.
3. **Organização das informações:** toda a documentação encontrada nos artigos científicos selecionados foi organizada sistematicamente, distinguindo o ano de publicação, país de desenvolvimento do projeto, matéria-prima utilizada, ativador químico utilizado, capacidade máxima de adsorção, área superficial do carvão ativado e pH.

RESULTADOS OBTIDOS

A partir da revisão bibliográfica foram encontrados 30.805 artigos científicos relacionados apenas ao carvão ativado, 2.353 adicionando ativação química como filtro de busca, dos quais 503 trabalhos estavam relacionados ao azul de metileno e 34 ao carvão ativado, ativação química, azul de metileno e resíduos agroindustriais.

Dos 34 artigos que eram sobre os temas analisados, 17 foram selecionados pois continham informações do método de ativação do carvão ativado, da capacidade de adsorção e da área superficial, parâmetros utilizados para comparação de desempenho dos carvões ativado. A organização sistemática consta na Tabela 1.

Tabela 1: Organização das informações por país, matéria prima, ativador, capacidade máxima de adsorção, área superficial e pH (continua).

País	Matéria Prima	Ativador	Capacidade máxima de adsorção (mg/g)	Área Superficial (m ² /g)	pH	Referência
Malásia	Casca de coco	NaOH	200.01	876.14	7.0	(ISLAM et al., 2017)
Marrocos	Casca de mandioca	H ₃ PO ₄	771 .00	2.40	7.0	(BEAKOU et al., 2017)
Malásia	Resíduo de banana	H ₃ PO ₄	166.51	1173.16	7.0	(DANISH et al., 2018)
Portugal	Resíduos de cortiça em pó	NaOH	350.00	1670 .00	7.0	(NOVAIS et al., 2018)

Estados Unidos	Bagaço da cana-de-açúcar	$Mg(C_2H_3O_2)_2$	297.00	40.61	6.5 – 7.0	(LI et al., 2018)
Malásia	Casca de mangostão	$ZnCl_2$	1193.00	1621.80	9.0	(NASRULLAH et al., 2019)
Polônia	Resíduo de Framboesa	Na_2CO_3	146.00	380.00	4.6	(BAZAN-WOZNIAK; PIETRZAK, 2020)
Polônia	Resíduo de cassis (groselha preta)	Na_2CO_3	137.00	270.00	5.2	(BAZAN-WOZNIAK; PIETRZAK, 2020)
Polônia	Resíduo de urtigas	Na_2CO_3	96.00	180.00	4.3	(BAZAN-WOZNIAK; PIETRZAK, 2020)
Polônia	Resíduo de chá-verde	Na_2CO_3	85.00	300.00	5.5	(BAZAN-WOZNIAK; PIETRZAK, 2020)
China	Resíduo de Bambu	$KHCO_3$	499.30	1693.00	7.0	(LI et al., 2020)
Brasil	Resíduo de Bambu	CO_2	298.82	856.78	6.8	(SANTANA et al., 2019)
China	Resíduos de eucalipto	H_3PO_4	977.00	1545.00	7.0	(HAN et al., 2020)
Colômbia	Resíduos de dendê	$ZnCl_2$	646.75	835.00	7.0	(MUÑOZ et al., 2017)
Brasil	Palha de milho	$ZnCl_2$	118.90	747.00	7.0	(CATELAN; MENDES, 2019)
Brasil	Borra de café	$NaOH$	2.37	2010.50	7.0	(FIGUEIREDO; BOTARI, (2017)
		H_3PO_4	2.68	823.99	7.0	
China	Resíduo de soja	$ZnCl_2$	255.10	643.58	7.0	(LI et. al, 2020)

ANÁLISE E DISCUSSÃO

A partir dos resultados obtido na Tabela 1, construiu-se o gráfico mostrado na Figura 1, no qual é possível visualizar o desempenho dos diferentes materiais quanto à capacidade de adsorção.

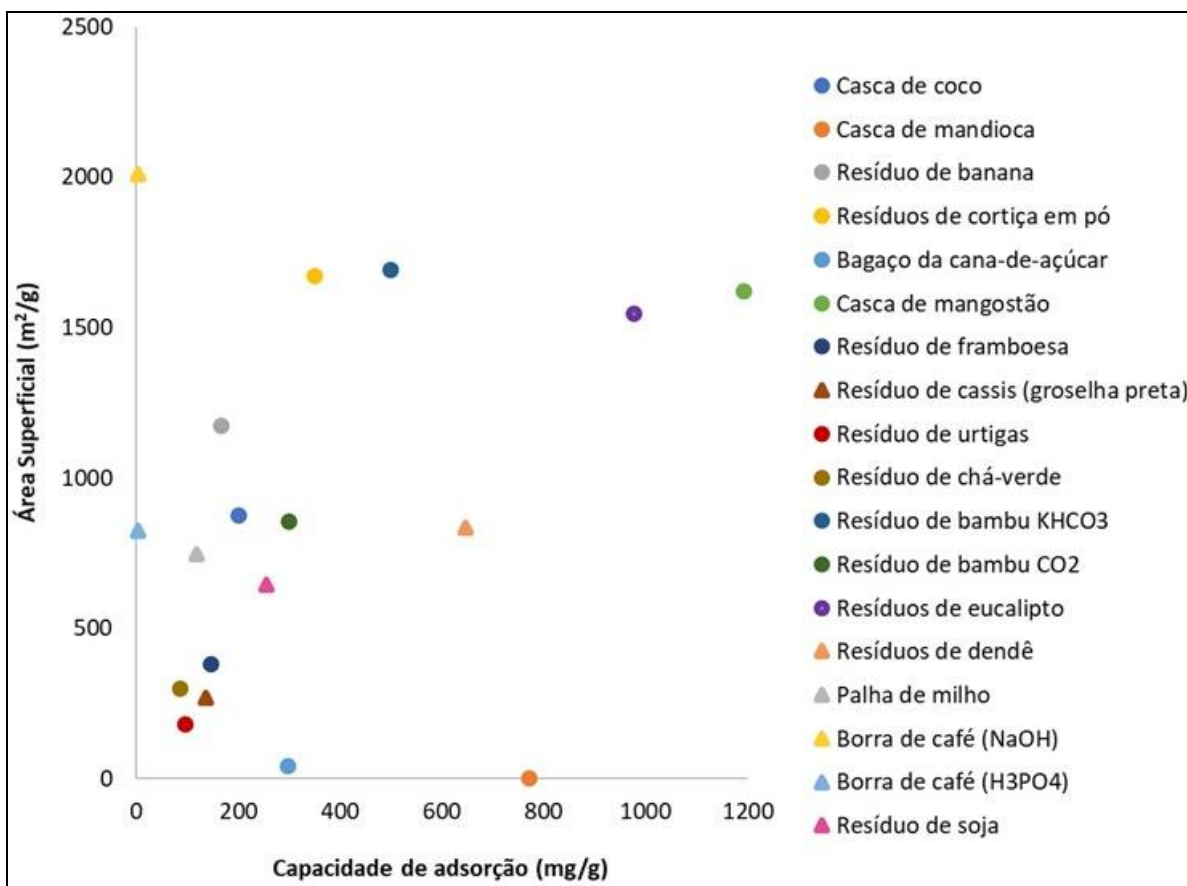


Figura 1: Comparação entre as capacidades de adsorção e a área superficial dos diferentes carvões ativados avaliados.

Conforme a Figura 1, pode-se perceber que os carvões ativados que apresentaram melhor desempenho de adsorção foram os produzidos a partir dos resíduos de mangostão e de eucalipto, que apresentaram capacidades de adsorção acima ou próxima de 1000 mg/g. Estes carvões ativados também apresentaram uma elevada área superficial (BET) e consequente número de poros, o que corrobora com os resultados obtidos para a capacidade de adsorção do azul de metileno. No Brasil, não se tem dado sobre a geração de mangostão, por ser uma espécie exótica no país, mas anualmente são geradas 220 milhões de toneladas de resíduos de eucalipto (GONÇALVES, et al., 2015), demonstrando a viabilidade de aproveitamento destes resíduos para a produção de carvão ativado. Com relação ao tipo de ativação química utilizado para o carvão ativado de resíduos de eucalipto, Han et al. (2020) afirmam que a ativação com o H_3PO_4 (40%), aumenta em 1000% a capacidade de adsorção deste material, devendo-se avaliar a aplicabilidade deste método.

Valores acima do IAM exigido (BAÇAOUI, et al., 2001) foram encontrados para outros resíduos agroindustriais que se apresentam como um problema para a gestão brasileira, como a casca de mandioca, o bagaço de cana-de-açúcar, resíduo do processamento do bambu, resíduos do processamento do dendê e resíduo de soja. Dentre estes resíduos, foram obtidas altas capacidades de adsorção para os resíduos de casca de mandioca, resíduo do dendê e resíduo de bambu ativado com $KHCO_3$.

Apesar da baixa área superficial, os resíduos de casca de mandioca tiveram uma alta capacidade de adsorção, isto pode ser explicado pelos grupos funcionais presentes nos constituintes deste resíduo, verificados no estudo, que promoveram uma maior força eletrostática na superfície do adsorvente, e consequentemente, contribuiu para uma maior adsorção das moléculas do azul de metileno (BEAKOU, et al., 2017).

O resíduo de dendê também apresentou alta capacidade de adsorção e uma elevada área superficial. Segundo Muñoz et al. (2017), o material apresenta uma grande quantidade de material volátil, que foi convertido em poros, no processo de produção do carvão ativado. Ainda a utilização do cloreto de zinco ($ZnCl_2$) como um agente ativador foi benéfica ao processo, aumentando o volume de poros e os grupos funcionais promotores da adsorção.

Já com relação ao resíduo de bambu, a ativação com KHCO_3 produziu um resíduo com maior capacidade de adsorção do que o CO_2 . Segundo Li et al. (2020) isto se deveu, assim como para o resíduo de dendê e para a casca de mandioca, aos grupos funcionais formados, que favoreceram a adsorção da molécula do azul de metileno, em prejuízo a ativação do bambu com o CO_2 , que conforme avaliado por Santana et al. (2019), teve um resultado inferior.

Com relação aos outros resíduos, verifica-se que o desempenho foi inferior ao esperado, devendo ser avaliadas outras formas de ativação que não as citadas na Tabela 1. Ressalta-se que para o carvão comercial é indicado um IAM superior a 180 mg/g (BAÇAOUI, et al., 2001), o que demonstra que não poderiam ser produzidos comercialmente carvões com eficiência adequada a partir dos resíduos de banana, framboesa, cassis (groselha preta), urtigas, chá-verde, borra de café e palha de milho.

Apesar disto, verifica-se que foram obtidos bons desempenhos de carvões ativados produzidos a partir de resíduos gerados em grande quantidade nas agroindústrias do Brasil. Além do eucalipto, o Brasil é um grande produtor de mandioca, cuja produção é ordem de 20,8 milhões de toneladas. Estima-se que 5% do peso da mandioca é de cascas, o que resulta em 104 mil toneladas geradas ao ano deste resíduo, que poderiam ser valorizados por meio da produção de carvão ativado nas agroindústrias (CONAB, 2018).

A produção brasileira de óleo de dendê chega a 500 milhões de toneladas anuais, destes 1,2 milhões de toneladas de resíduos são geradas anualmente, já com relação ao bambu, mesmo que a produção seja pequena, anualmente são geradas 50.820 toneladas no Brasil (SEDAP, 2018; SOUZA JÚNIOR et al., 2017). Desta forma, existe a possibilidade de implantação de usinas de produção de carvão ativado junto às agroindústrias devendo ser realizado um estudo de viabilidade.

Percebe-se ainda que existem diferentes meios de ativação utilizados para produção de carvões ativados a partir de resíduos agroindustriais, com o foco na remoção de contaminantes emergentes sendo necessária uma avaliação da viabilidade do processo de produção destes carvões.

CONCLUSÕES

A partir da revisão bibliográfica realizada, evidencia-se o grande potencial de resíduos agroindustriais e sua alta aplicabilidade como matéria-prima renovável, que podem servir como precursores potenciais para a síntese de carvão ativado em processos químicos com diferentes ativadores, devido ao seu bom desempenho e boas propriedades de superfície e adsorção eficiente de azul de metileno, gerando inúmeras aplicações em nível ambiental, principalmente no que tange a remoção de poluentes emergentes em águas.

Com o estudo bibliográfico realizado percebeu-se que diferentes meios de ativação química são utilizados, devendo-se avaliar sua aplicabilidade junto à agroindústria, e que nem sempre uma alta área superficial irá contribuir para um bom desempenho na adsorção do carvão ativado, o mesmo vale para o inverso, sendo que o teste de adsorção é a metodologia mais adequada nesta avaliação.

Dentre os estudos avaliados, percebeu-se um alto potencial para produção de carvão ativado a partir de resíduos de eucalipto, que são amplamente disponíveis no Brasil, e necessitam de valorização, assim como os resíduos de casca de mandioca, do processamento do bambu e do dendê.

Ainda, ressalta-se a necessidade de padronização do IAM no Brasil, uma vez que pode ser uma ferramenta útil de avaliação dos carvões ativados produzidos, fomentando a ampliação de seu uso no Brasil.

REFERÊNCIAS

1. AYGÜN, A., YENISOY-KARAKAS, S. & DUMAN, I. Production of granular activated carbon from fruit stones and nutshells and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties. *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 66, n. 2-3, p. 189-195, dez. 2003.

2. BAÇAOUI, A., YAACOUBI, A., DAHBI, A., BENNOUNA, C.; LUU, R.P.T., MALDONADO-HODAR, F.J., UTRILLA, J.R. & MORENO-CASTILLA, C. Optimization of conditions for the preparation of activated carbons from olive-waste cakes. *Carbon*, v. 39, n. 3, p. 425-432, mar. 2001.
3. BAZAN-WOZNIAK, A. & PIETRZAK, R. Adsorption of organic and inorganic pollutants on activated bio-carbons prepared by chemical activation of residues of supercritical extraction of raw plants. *Chemical Engineering Journal*, vol. 393, ago. 2020.
4. BEAKOU, B.H., HASSANI, K.E., HOUSSAINI, M.A., BELBAHLOUL, M., OUKANI, E. & ANOUAR, A. Novel activated carbon from Manihot esculenta Crantz for removal of Methylene Blue. *Sustainable Environment Research*, vol. 27, n. 5, p. 215-222, set. 2017.
5. BRASIL. Lei 12.305 - Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 ago. 2010. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em: 22 jan. 2013.
6. BRASIL. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2016*. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2016. Disponível em: < <http://www.snis.gov.br/diagnosticos/agua-e-esgotos> >. Acesso em: 20 mai. 2020.
7. CATELAN, T. C.; MENDES, A. N. F. Produção de carvão ativado a partir da palha de milho e posterior utilização para remoção do corante azul de metileno de efluentes aquosos. *Brazilian Journal of Production Engineering - BJPE*, vol. 5, n.3, p.139-154, jul. 2019.
8. CHEREMISINOFF, N. P. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies*. Butterworth-Heinemann, 2002, 636 p.
9. CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Relatório anual de Mandioca*. 6p. 2018. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-mandioca/item/download/15104_87ab84e372faa534fa097d39adcb71c5. Acesso em 01 mai. 2020.
10. DANISH, M., AHMAD, T., MAJEED, S., AHMAD, M., ZIYANG, L., PIN, Z. & IQUBAL, S.M.S. Use of banana trunk waste as activated carbon in scavenging methylene blue dye: Kinetic, thermodynamic, and isotherm studies. *Bioresource Technology Reports*, vol. 3, p. 127-137, set. 2018.
11. DAVID NOEL, S. & RAJAN, M.R. Impact of Dyeing Industry Effluent on Ground water Quality by Water Quality Index and Correlation Analysis. *Journal of Pollution Effects & Control*, v. 2, n. 2, 2014.
12. FIGUEIREDO, A. C. F.; BOTARI, A. Remoção de cloridrato de metiltiamina por adsorção utilizando carvão ativado produzido a partir da borra de café. *Scientia Amazonia*, v. 6, n.2, p. 91-108, mai. 2017.
13. GONÇALVES, J. L. M. et al. *Caracterização edafoclimática e manejo das áreas com plantações de eucalipto*. In: Schumacher, M. V. & Viera, M. (Org.) *Silvicultura do eucalipto no Brasil*. Santa Maria: Ed. UFSM. p. 113-155. 2015
14. HAN, Q., WANG, J., GOODMAN, B. A., XIE, J., & LIU, Z. High adsorption of methylene blue by activated carbon prepared from phosphoric acid treated eucalyptus residue. *Powder Technology*, vol. 366, p. 239-248, abr. 2020.
15. ISLAM, M.A., AHMED, M.J., KHANDAY, W.A., ASIF, M. & HAMEED, B.H. Mesoporous activated coconut shell-derived hydrochar prepared via hydrothermal carbonization-NaOH activation for methylene blue adsorption. *Journal of Environmental Management*, vol. 203, n. 1, p. 237-244, dez. 2017.
16. KARACA S., GÜRSES A., BAYRAK R. Effect of some pre-treatments on the adsorption of methylene blue by Balkaya lignite. *Energy Conversion and Management*, vol. 45, p. 1693-1704, jul 2004.
17. LI, R., LIANG, W., WANG, J.J., GASTON, L.A., HUANG, D., HUANG, H., LEI, S., AWASTHI, M.K., ZHOU, B., XIAO, R. & ZHANG, Z. Facilitative capture of As(V), Pb(II) and methylene blue from aqueous solutions with MgO hybrid sponge-like carbonaceous composite derived from sugarcane leafy trash. *Journal of Environmental Management*, vol. 212, p. 77-87, abr. 2018.

18. LI, Z., XING, B., DING, Y., LI, Y., & WANG, S. A high-performance biochar produced from bamboo pyrolysis with in-situ nitrogen doping and activation for adsorption of phenol and methylene blue. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, abr. 2020.
19. MARRAKCHI, F., AUTA, M., KHANDAY, W.A. & HAMEED, B.H. High-surface-area and nitrogen-rich mesoporous carbon material from fishery waste for effective adsorption of methylene blue. *Powder Technology*, vol. 321, p. 428-434, nov. 2017.
20. MUÑOZ, A.P.R., ARDILA, S.G., YEPES, E.F. & SOTO, N.Y.A. Preparación de carbon activado a partir de residuos de palma de aceite y su aplicación para la remoción de colorants. *Revista Colomb. Quim.*, v. 46, n. 1, p. 33-41, 2017.
21. NASRULLAH, A., SAAD, B., BHAT, A.H., KHAN, A.S., DANISH, M., ISA, M.H. & NAEEM, A. Mangosteen peel waste as a sustainable precursor for high surface area mesoporous activated carbon: Characterization and application for methylene blue removal. *Journal of Cleaner Production*, vol. 211, p. 1190-1200, fev. 2019.
22. NOVAIS, R.M., CAETANO, A.P.F., SEABRA, M.P., LABRINCHA, J.A. & PULLAR, R.C. Extremely fast and efficient methylene blue adsorption using eco-friendly cork and paper waste-based activated carbon adsorbents. *Journal of Cleaner Production*, vol. 197, n. 1, p. 1137-1147, out. 2018.
23. PEREIRA, E.; RODRIGUES, V. *Carvão do caroço de açaí (Euterpe oleracea) ativado quimicamente com hidróxido de sódio (NaOH) e sua eficiência no tratamento de água para o consumo*. Relatório do Projeto de Pesquisa apresentado à Comissão Avaliadora do Prêmio Jovem Cientista, 2013. Disponível em: <http://estatico.cnpq.br/portal/premios/2013/pjc/imagens/publicacoes/ganhadores/EnsinoMedio/1Lugar_1671_Edivan_Nascimento_Pereira.pdf>. Acesso em 20 mai. 2020.
24. RINCÓN, J., RINCÓN, S., GUEVARA, P., BALLÉN, D., MORALES, J.C. & MONROY, N. Producción de carbón activado mediante métodos físicos a partir de carbón de El Cerrejón y su aplicación en el tratamiento de aguas residuales provenientes de tintorerías. *La Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 39, n. 151, p. 171-175, abr-jun. 2015.
25. ROSSOL, C.D., SCALON FILHO, H.; BERTÉ, L.N., JANDREY, P.E., SCWANTES, D. & GONÇALVES JÚNIOR, A.C. Caracterização, classificação e destinação de resíduos da agricultura. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 11, n. 4, p.33-43, fev. 2012.
26. SANTANA, G. M.; TRUGILHO, P. F.; BORGES, W. M. DA S.; BIANCHI, M. L.; PAES, J. B.; NOBRE, J. R. COIMBRA, J. R.; MORAIS, R. M. Activated carbon from bamboo (*Bambusa vulgaris*) waste using CO₂ as activating agent for adsorption of methylene blue and phenol. *Ciênc. Florest.* vol.29, n.2, p.769-778, set. 2019.
27. SEDAP – SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO AGROPECUÁRIO E DA PESCA DO PARÁ. Panorama agrícola 2017 – 2018. 2018. 12 p. Disponível em: <http://www.sedap.pa.gov.br/content/dend%C3%AA>. Acesso em 01 mai. 2020.
28. SOUZA JÚNIOR, M. T.; DE CAPDEVILLE, G.; ESQUIAGOLA, M. M. O.; SOUZA, D. T.; SANTOS, G. S.; ALMEIDA, J. R. M. LIMA, R. S.; GAMETTA, R. Biodiesel e Bioquerosene: O Papel da Embrapa Agroenergia. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2017. 37 p.
29. VIDAL, M.V, SUAREZ, A.R, BARRIOS, K.M, PÉREZ, J.O. & WILMAR, B. L. Potential of agroindustrial waste for the synthesis of activated carbon: a review. *Scientia et Technica*, vol. 23, n. 3, set. 2018.